

Simulationsbasierte Entscheidungsunterstützung bei der Gestaltung flexibler Produktionsbereiche auf taktischer Ebene

von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik
und Wirtschaftsingenieurwesen
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur

Sören Frischke

geboren am 13. 12. 1974 in Cottbus

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Ralf Woll

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Specht

Gutachter: Prof. Dr. Dr. Rainer Schwarz

Tag der mündlichen Prüfung: 04. 04. 2006

Für meine Eltern
Jürgen und Elisabeth Frischke

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Zielstellung der Arbeit.....	2
1.3	Aufbau der Arbeit.....	3
2	THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	5
2.1	Der Flexibilität s begriff	5
2.1.1	Definition des Flexibilität s begriffs	5
2.1.2	Abgrenzung des Flexibilität s begriffs	6
2.1.2.1	Robustheit und Elastizität.....	6
2.1.2.2	Flexibilität und Kapazität	7
2.1.3	Merkmale der Flexibilität.....	8
2.1.3.1	Konstituierende Merkmale	8
2.1.3.2	Handlungsspielraum	9
2.1.3.3	Handlungszeit	10
2.1.3.4	Handlungsbereitschaft	11
2.1.3.5	Mehrstufigkeit	12
2.1.3.6	Flexibilitätskosten	14
2.1.4	Klassifikation des Flexibilität s begriffes.....	16
2.1.4.1	Flexibilitätsträger.....	16
2.1.4.2	Bestands- und Entwicklungsflexibilität	18
2.1.4.3	Produktionstechnische Flexibilität	19
2.2	Flexibilität im Produktionsmanagement	23
2.2.1	Aufgabenbereiche des Produktionsmanagements	23
2.2.1.1	Produktionsmanagement als hierarchisches Führungssystem	23
2.2.1.2	Aufgaben des strategischen Produktionsmanagements	25
2.2.1.3	Aufgaben des taktischen Produktionsmanagements	26
2.2.1.4	Aufgaben des operativen Produktionsmanagements	28
2.2.2	Flexibilitätsorientiertes Projektionsmodell des Produktionsmanagements	31
2.2.2.1	Hierarchische und horizontale Integration.....	31
2.2.2.2	Planungsentscheidungen im Projektionsmodell	33
3	ANSÄTZE ZUR GESTALTUNG VON FLEXIBILITÄT	37
3.1	Flexibilitätsgestaltung als Managementprozess	37
3.1.1	Zyklus des Flexibilität s management.....	37
3.1.2	Flexibilitätsbedarf und Flexibilität s angebot.....	39
3.1.3	Leitlinien der Flexibilität s gestaltung.....	41
3.1.4	Strategien der Flexibilität s gestaltung	42
3.2	Methodenunterstützung bei der Gestaltung der Flexibilität.....	47
3.2.1	Identifikation von Flexibilität s bedarf.....	47
3.2.2	Maßzahlen zur Flexibilität s bewertung	50
3.2.2.1	Klassifizierung von Maßzahlen	50
3.2.2.2	Messung des Flexibilität s potentials.....	51
3.2.2.3	Bestimmung einer allgemeinen Maßzahl	53

3.2.3	Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung auf strategischer Ebene	55
3.2.3.1	Flexibilitätsprofile und Portfolio-Methoden	55
3.2.3.2	Einsatz von Simulationsmodellen	57
3.2.3.3	Weitere methodische Ansätze	58
3.2.4	Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene	59
3.2.4.1	Simulationsgestützte Verfahren	59
3.2.4.2	Nutzwertanalytische Verfahren	62
3.2.4.3	Weitere methodische Ansätze	63
3.2.5	Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung auf operativer Ebene	64
3.3	Würdigung bestehender Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung	66
3.3.1	Nutzung von Bewertungskriterien	66
3.3.2	Hierarchiebezogene Bewertung bestehender Ansätze	67
3.3.2.1	Flexibilitätsgestaltung auf strategischer Ebene	67
3.3.2.2	Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene	68
3.3.2.3	Flexibilitätsgestaltung auf operativer Ebene	69
3.3.3	Zusammenfassende Würdigung bestehender Ansätze	70
3.3.4	Anforderungen an eine Methodik zum Flexibilitätsmanagement auf taktischer Ebene	73
4	ABBILDUNG DES PRODUKTIONSSYSTEMS IN DYNAMISCHEN SYSTEMMODELLEN.....	75
4.1	Auswahl von Simulationsmethode und Simulationswerkzeug.....	75
4.1.1	Modellierung von Produktionssystemen	75
4.1.1.1	Produktion als System	75
4.1.1.2	Modelle des Produktionssystems	78
4.1.2	Simulation von Produktionssystemen	80
4.1.2.1	Analytische Modelle und Simulationsmodelle	80
4.1.2.2	Klassifizierung nach Art der Zeitfortschreibung	82
4.1.3	Eigenschaftsorientierte Auswahl eines Simulationswerkzeuges	84
4.1.3.1	Problemorientierung beim Einsatz von Simulationsmodellen	84
4.1.3.2	Abbildungsziel beim Einsatz von Simulationsmodellen	86
4.1.3.3	Anwendungsorientierung bei der Nutzung von Simulationswerkzeugen	86
4.2	Elementare Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle.....	90
4.2.1	Aufbau kontinuierlicher Simulationsmodelle mit dem System-Dynamics-Ansatz	90
4.2.1.1	Herkunft und Ziele des System-Dynamics-Ansatzes	90
4.2.1.2	Validierung systemdynamischer Modelle	91
4.2.1.3	Mathematische Grundlagen des System-Dynamics-Ansatzes	93
4.2.1.4	System-Dynamics-Notation	94
4.2.2	Darstellung von Zeitverzögerungen	96
4.2.2.1	Gegenstand der Darstellung von Zeitverzögerungen	96
4.2.2.2	First-Order Material Delay	96
4.2.2.3	High-Order Material Delay	98
4.2.2.4	Information Delays	99
4.2.3	Darstellung von Regelkreisen	101
4.2.3.1	Steuerung und Regelung	101
4.2.3.2	Regelung in kontinuierlichen Systemmodellen	103
4.2.3.3	Steuerung mittels Ableiten von Trends	104
4.2.4	Sonstige elementare Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle	107
4.2.4.1	Abbildung von Entscheidungen	107
4.2.4.2	Darstellung nicht-linearer Abhängigkeiten	110

5 FLEXIBILITÄTSGESTALTUNG UNTER NUTZUNG KONTINUIERLICHER SYSTEMMODELLE	114
5.1 Gegenstand des Flexibilitätsmanagements auf taktischer Ebene	114
5.1.1 Gestaltungsziel des Flexibilitätsmanagements auf taktischer Ebene	114
5.1.2 Elemente einer Vorgehensweise zur Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene.....	116
5.2 Identifikation und Beschreibung des Flexibilitätsproblems.....	118
5.2.1 Beschreibung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot	118
5.2.1.1 Beschreibung von Flexibilitätsbedarf	118
5.2.1.2 Beschreibung von Flexibilitätsangebot.....	121
5.2.2 Formulierung von Flexibilitätsproblemen.....	123
5.2.2.1 Identifikation und Beschreibung von Flexibilitätsproblemen.....	123
5.2.2.2 Dynamische Abbildung von Flexibilitätsproblemen	124
5.3 Problemorientierte Abbildung des Produktionssystems	127
5.3.1 Bestimmen der Systemgrenze auf Grundlage des Flexibilitätsproblems	127
5.3.2 Aufbau eines simulationsfähigen Systemmodells	128
5.3.2.1 Elemente der Abbildung von Flexibilitätsproblemen im Systemmodell	128
5.3.2.2 Abbildung des Materialflusses der Produktiveinheit.....	130
5.4 Unterstützung bei der Flexibilitätsgestaltung	133
5.4.1 Erzeugung von Simulationsszenarien	133
5.4.2 Wirtschaftliche Bewertung der Flexibilität	134
6 EVALUATION DER ENTWICKELTEN VORGEHENSWEISE AN EINEM FALLBEISPIEL	136
6.1 Betrachtungsgegenstand des Fallbeispiels.....	136
6.2 Ermittlung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot.....	138
6.2.1 Beschreibung von Flexibilitätsbedarf	138
6.2.2 Beschreibung von Flexibilitätsangebot	139
6.3 Formulierung von Flexibilitätsproblemen.....	140
6.3.1 Identifikation und Beschreibung von Flexibilitätsproblemen	140
6.3.2 Dynamische Abbildung von Flexibilitätsproblemen.....	143
6.4 Modellierung der Flexibilitätsprobleme	146
6.4.1 Überblick über das Systemmodell	146
6.4.2 Steuerung des Produktionssystems	147
6.4.3 Anpassung von Personalkapazität.....	151
6.4.4 Prozessverbesserung durch Rationalisierungsprojekt	153
6.5 Bewertung der Simulationsergebnisse	154
6.5.1 Überblick über die Simulationsergebnisse	154
6.5.2 Produktionssteuerung und Sicherheitsbestände	156
6.5.3 Personalanpassung	159
6.5.4 Prozessverbesserung durch das Rationalisierungsprojekt	161
6.6 Evaluation des Anwendungsbeispiels.....	163
7 ZUSAMMENFASSUNG	165
LITERATURVERZEICHNIS	167
ANHANG.....	176

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2: Definition von Handlungsspielräumen	10
Abbildung 3: Bestandteile der Handlungszeit	10
Abbildung 4: Flexibilitätskosten	15
Abbildung 5: Flexibilitätsträger	17
Abbildung 6: Produktionstechnische Flexibilitätsebegriffe	21
Abbildung 7: Produktionsführungssystem als System vermaschter Regelkreise	24
Abbildung 8: Marktwachstum-Marktanteils-Portfolio mit Standardstrategien	25
Abbildung 9: Ausstattungsentscheidungen auf Ebene des taktischen Produktionsmanagements	27
Abbildung 10: Aufgabenbereiche des operativen Produktionsmanagements	28
Abbildung 11: Aufbau und Planungsebenen eines kapazitätsorientierten PPS-Systems	30
Abbildung 12: Das flexibilitätsorientierte Projektionsmodell des Produktionsmanagements	32
Abbildung 13: Beispiel für eine Handlungsalternative auf taktischer Ebene	35
Abbildung 14: Zyklus des Flexibilitätsmanagement	37
Abbildung 15: Flexibilitätspotential-Flexibilitätsbedarfsportfolio	44
Abbildung 16: Identifikation von Flexibilitätsbedarf	49
Abbildung 17: Visualisierung von Flexibilitätspotentialen	53
Abbildung 18: Beispiel eines Flexibilitätsprofils	55
Abbildung 19: Flexibilitätspotentialplanung durch Nutzung von Simulationsmodellen	61
Abbildung 20: Kriterien zur Bewertung bestehender Ansätze	66
Abbildung 21: Systemelemente und Funktionen	76
Abbildung 22: Wirk- und Zuordnungsbeziehungen	76
Abbildung 23: Modelltypen	79
Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Modellentwicklung und Simulation	80
Abbildung 25: Darstellung von Bestands- und Flußgröße	93
Abbildung 26: Zufluss-Abfluss-Beziehung in System-Dynamics-Notation	94
Abbildung 27: Symbole zur Beschreibung der Elemente eines systemdynamischen Modells	94
Abbildung 28: First-Order Material Delay	97
Abbildung 29: Third-Order Material Delay	99
Abbildung 30: First-Order und High-Order Information Delays	100
Abbildung 31: Blockschaltbild eines Regelkreises	102
Abbildung 32: Vereinfachter Regelkreis in System-Dynamics Notation	103
Abbildung 33: Trend-Funktion	106
Abbildung 34: Prinzipdarstellung der Abbildung von Entscheidungen in System-Dynamics-Notation	108
Abbildung 35: Beispiel für den Aufbau einer Tabellenfunktion	111
Abbildung 36: Gestaltungsziel des Flexibilitätsmanagements auf taktischer Ebene	115
Abbildung 37: Elemente des Flexibilitätsmanagementzyklus auf taktischer Ebene	116
Abbildung 38: Beschreibung von Flexibilitätsanforderungen aufgrund externer Dynamik	119
Abbildung 39: Beschreibung von Flexibilitätsbedarf	121
Abbildung 40: Gestaltungsbereiche des Flexibilitätsangebotes eines Produktionssystems	122
Abbildung 41: Formulierung hypothetischer Flexibilitätsprobleme	124
Abbildung 42: Rückkopplungsschleifen	125
Abbildung 43: Elemente der Abbildung von Flexibilitätsproblemen	129
Abbildung 44: Modell einer Produktiveneinheit	131
Abbildung 45: Auswertung des Simulationsmodells zur Ableitung von Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen	133
Abbildung 46: Modellierung der Ermittlung des Barwertes	134
Abbildung 47: Prozessablaufplan	137
Abbildung 48: Ermittlung der Flexibilitätsanforderungen	138
Abbildung 49: Kausalschleifendiagramm zur dynamischen Abbildung von Flexibilitätsproblemen	143
Abbildung 50: Bildschirm Ausdruck des erstellten Modells	146
Abbildung 51: Partialmodell der Produktionssteuerung zur Berücksichtigung des Auftragsbestandes	148
Abbildung 52: Empirische Daten zur Berücksichtigung des Bestandes im Produktionsprozess	149
Abbildung 53: Partialmodell der Produktionssteuerung zur Berücksichtigung des Bestandes im Prozess	150
Abbildung 53: Ausschnitt aus dem Partialmodell Personal	152
Abbildung 55: Partialmodell zur Abbildung des Rationalisierungsprojektes	153
Abbildung 56: Auswirkungen eines Nachfrageanstiegs ohne Berücksichtigung von Beständen	157
Abbildung 57: Auswirkungen eines Nachfrageanstiegs mit Berücksichtigung von Beständen	158
Abbildung 58: Auswirkungen einer erhöhten Einstellungszeit bei einem Nachfrageanstieg	160
Abbildung 59: Auswirkung des Rationalisierungsprojektes bei historischem Nachfrageverlauf	161

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Konstituierende Merkmale des Flexibilitätsbegriffes	8
Tabelle 2:	Bestands- und Entwicklungsflexibilität	19
Tabelle 3:	Integration der produktionstechnischen Flexibilitätsbegriffe in die Bestands- und Entwicklungsflexibilität	22
Tabelle 4:	Mehrstufigkeit der Planungsentscheidungen im Projektionsmodell	34
Tabelle 5:	Klassifizierung von Flexibilitätsbedarf	39
Tabelle 6:	Vergleichbarkeit von Handlungsspielräumen	51
Tabelle 7:	Würdigung bestehender Ansätze	71
Tabelle 8:	Zuordnung von Simulationsmodellen und Problemkategorien	84
Tabelle 9:	Abbildungsziele des Einsatzes von Simulationsmodellen auf taktischer Ebene	86
Tabelle 10:	Simulatoren zu Grunde liegende Modellierungsverfahren	87
Tabelle 11:	Abbildung des Flexibilitätsangebots	139
Tabelle 12:	Formulierung hypothetischer Flexibilitätsprobleme	141
Tabelle 13:	Zuordnung der Ergebnisse der Simulationsläufe zu den hypothetischen Flexibilitätsproblemen	155
Tabelle 14:	Simulationsergebnisse bei unterschiedlicher Bestandsberücksichtigung und Sicherheitsbestandshöhe	159

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Wechselnde qualitative und quantitative Marktanforderungen erfordern heute eine schnelle Reaktion von Unternehmen. Die ursächliche Zunahme der Komplexität und der Dynamik bedeutsamer Entscheidungsdaten ist ein Tatbestand, der die produktionswissenschaftliche Diskussion seit mehreren Jahrzehnten begleitet.¹ Der Produktionsbereich steht als Subsystem des Unternehmens vor der Herausforderung, über eine hohe Anpassungsfähigkeit verfügen zu können, um die Marktanforderungen schnellstmöglich umzusetzen. Die Faktoren, die sich positiv auf eine schnelle Anpassungsfähigkeit auswirken, sind in der wissenschaftlichen Literatur ebenso wie in der Unternehmenspraxis weithin bekannt. So wird beispielsweise im Bereich der elementaren Produktionsfaktoren flexiblen Fertigungssystemen eine hohe Anpassungsfähigkeit an wechselnde Anforderungen attestiert. Ebenso ist allgemein bekannt, dass sich beispielsweise starre Tarifverträge und Personal mit geringem Qualifikationsniveau negativ auf die Flexibilität eines Unternehmens auswirken können.

Hinsichtlich der methodischen Unterstützung bei der Bewertung und Gestaltung der unternehmensindividuellen Flexibilität als Summe der vielfältigen qualitativen und quantitativen Anpassungserfordernisse, finden sich sowohl in der Literatur als auch in der Unternehmenspraxis zahlreiche Ansätze in mehreren Wissenschaftsdisziplinen.² Alle hierarchischen Ebenen des Unternehmens stehen vor Flexibilitätsanforderungen. Die Ursachen für die grundsätzlichen Flexibilitätsprobleme, die auf der operativen Ebene auftreten, liegen meist in den Aktivitäten der strategischen und taktischen Ebene begründet.³ Die Umweltdynamik findet Eingang in die Planung auf strategischer Ebene und damit in die strategischen Zielvorgaben der Unternehmensführung. Diese werden in Handlungsvorgaben umgesetzt, welche den Rahmen für die Planung auf den untergeordneten Ebenen bilden. Die taktische Ebene des hierarchischen Führungssystems steht aufgrund externer Umweltdynamik vor der Herausforderung, das operative Produktionssystem anpassungsfähig zu gestalten. Dominiert in den operativen Produktionsbereichen das Ziel einer kostenminimalen Produktion, läuft das Unternehmen Gefahr, die Kostenoptimalität der Produktion zu Lasten der Flexibilität und Anpassungsfähigkeit des Produktionspotentials zu favorisieren.⁴ Nur eine integrierte Betrachtung der Flexibilitätsanforderungen und -potentiale des Produktionsbereiches einerseits und der Flexibilitätsanforderungen des turbulenten Marktumfeldes andererseits ermöglichen ein strukturelles Verständnis des dynamischen Verhaltens des Produktionssystems.⁵ Die proaktive, gezielte Gestaltung des dynamischen Produktionsverhaltens wird zum Erfolgsfaktor eines

¹ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 8.

² Eine detaillierte Übersicht über Wissenschaftsdisziplinen die sich mit dem Thema Flexibilität auseinandersetzen, findet sich bei HILLMER. [Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 3.]

³ Vgl. Kaluza, B. (1989), S. 4.

⁴ Vgl. Milling, P. (1984), S. 56.

⁵ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 492.

Produktionsunternehmens.⁶ Unternehmen, die auf Änderungen in der Unternehmensumwelt lediglich reagieren, werden auch bei der Realisation einer Anpassung des Produktionssystems immer Zeitnachteile gegenüber ihrer Konkurrenz haben.

Erschwerend wirkt sich bei der Flexibilitätsgestaltung aus, dass sich durch die individuellen Umweltkonstellationen des jeweils betrachteten Unternehmens differierende Anforderungen an dessen notwendige Flexibilität ergeben. Treffend stellt CORSTEN fest, dass es im Rahmen der Flexibilitätsanalyse weniger auf ein exaktes Kalkül als vielmehr auf eine Gegenüberstellung des Nutzens und der Kosten von Flexibilitätsmaßnahmen ankommt.⁷ Wird bei geringem Flexibilitätsbedarf zu viel Flexibilität vorgehalten, dann entstehen aus dem Vorhalten von Flexibilität Kosten. Ist die Flexibilität zu gering, können nicht alle Chancen, die sich dem Unternehmen bieten, ausgeschöpft werden.⁸

Bestehende Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene bedienen sich eines methodischen Instrumentariums, welches bei der Beschreibung des Systemverhaltens vorhandene Interdependenzen, Rückkopplungsbeziehungen und nichtlineares dynamisches Verhalten innerhalb des Produktionssystems nur in Grenzen berücksichtigt.

1.2 Zielstellung der Arbeit

Ziel des taktischen Produktionsmanagement ist es, die Überlebensfähigkeit des Unternehmens auch bei auftretender Dynamik durch ein adäquates Vorhalten von Produktionsfaktoren, wie Betriebsmitteln und Personal, sicherzustellen. Die taktische Ebene berücksichtigt dabei sowohl die durch die strategische Ebene verarbeiteten dynamischen Umfeldbedingungen als auch die durch die operative Ebene kommunizierte Dynamik des Ausführungssystems. Es wird eine Vorgehensweise entwickelt, welche das taktische Produktionsmanagement bei der Gestaltung flexibler Produktionsbereiche unterstützt. Dabei werden die aktuelle externe und interne Dynamik und das vorhandene Flexibilitätspotential, das sich aus dem spezifischen strukturellen Aufbau der Produktion und deren Steuerungsmechanismen ergibt, explizit berücksichtigt.

Die zu entwickelnde Vorgehensweise wird kein Berechnungsmodell zur optimalen Kapitalallokation darstellen. Vielmehr wird es möglich sein, Sensitivitätsanalysen durchzuführen, um Auswirkungen angestrebter Maßnahmen auf das Produktionssystem aufzuzeigen. Ziel ist die Ermittlung kritischer Größen, denen besondere Beachtung bei der Gestaltung eines flexiblen Produktionsbereiches zukommen muss. Die notwendigen Entscheidungen zur Gestaltung eines flexiblen Produktionsbereiches sollen systematisch unterstützt werden. In Systemen zur Entscheidungsunterstützung wird darauf abgezielt, die konkrete Situation und ein bestimmtes beobachtetes Verhalten erklären zu können.⁹

Die dem vorhandenen Produktionssystem inhärente Flexibilität erlaubt ein bestimmtes Verhalten auf sich ändernde Anforderungen. Zur Untersuchung dieses Verhaltens wird eine Betrachtung des Produktionssystems über die Zeit erforderlich. Die notwendige

⁶ Vgl. Westkämper, E.; Wiendahl, H.-H.; Pritschkow, G.; Rempp, B.; Schanz, M. (2000), S. 203.

⁷ Vgl. Corsten, H. (2000), S. 24.

⁸ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 1.

⁹ Vgl. Milling, P. (2002), S. 12, 13.

Berücksichtigung der Zeitkomponente bei Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen erfordert eine Unterstützung durch den Aufbau simulationsfähiger Modelle. Der System-Dynamics-Ansatz ist eine Methode zum strukturierten Aufbau kontinuierlicher, simulationsfähiger Systemmodelle. Er soll in Kombination mit diskreten Simulationsbestandteilen genutzt werden, um das Verhalten des Produktionssystems hinsichtlich vorhandener Flexibilitätspotentiale zu beschreiben, zu erklären und zu analysieren. Es wird das Ziel verfolgt, eine Vorgehensweise zu erarbeiten, die sich des methodischen Instrumentariums der Simulation bedient. Diese soll Hinweise geben, die bei Gestaltungsentscheidungen über den Aufbau von Flexibilitätspotentialen unterstützen. Die sachlogischen Zwänge zur Vereinfachung und Abstraktion beim Einsatz von Simulationsmodellen können einerseits zu Schwierigkeiten innerhalb der Konzeptionsphase führen, sind andererseits jedoch vorteilhaft bei der Erforschung eines speziellen Problems.¹⁰ Die zu entwickelnde Vorgehensweise soll diese spezifischen Eigenschaften des Einsatzes von Simulationsmodellen nutzen.

1.3 Aufbau der Arbeit

Eine klare Forderung an Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Flexibilitätsmanagement stellt JANSSEN, indem er postuliert, „...eine konzeptionelle Verklammerung zu schaffen, durch die kontextspezifische flexibilitätsbezogene Fragestellungen und Erklärungsansätze trotz ihrer Proliferation anschlussfähig zueinander gemacht werden.“¹¹ Dieser Forderung wird in dieser Arbeit nachgekommen. In einem Grundlagenteil werden zunächst die theoretischen Grundlagen des Flexibilitätsbegriffes aufgearbeitet. Die Ausführungen setzen auf dem hohen Aggregationsniveau der sozialwissenschaftlichen Aktionsforschung an. Damit wird das Fundament für eine bewertende Darstellung aktueller Forschungsergebnisse des Flexibilitätsmanagements in Kapitel drei gelegt. Es werden alle hierarchischen Ebenen des Produktionsmanagements als Untersuchungsgegenstand eingeschlossen. Im zweiten Teil des zweiten Kapitels erfolgt mit dem flexibilitätsorientierten Projektionsmodell eine Einordnung des Flexibilitätsbegriffes in die hierarchische Struktur des Produktionsmanagements.

Im dritten Kapitel werden Möglichkeiten der Gestaltung von Flexibilität vorgestellt. Zunächst wird erarbeitet, in welcher Form sich Flexibilitätsgestaltung als Managementaufgabe wieder finden lässt. Danach werden Ansätze dargestellt, welche unterschiedliche Elemente des identifizierten Managementzyklus auf unterschiedlichen hierarchischen Ebenen unterstützen. Es werden bestehende Ansätze auf allen hierarchischen Ebenen berücksichtigt, da die taktische Ebene über ein System vermaschter Regelkreise in das hierarchische Führungssystem eingebunden ist. Das Kapitel schließt mit einer Bewertung bestehender Ansätze.

¹⁰ Vgl. Milling, P. (1984), S. 511.

¹¹ Janssen, H. (1997), S. 189.

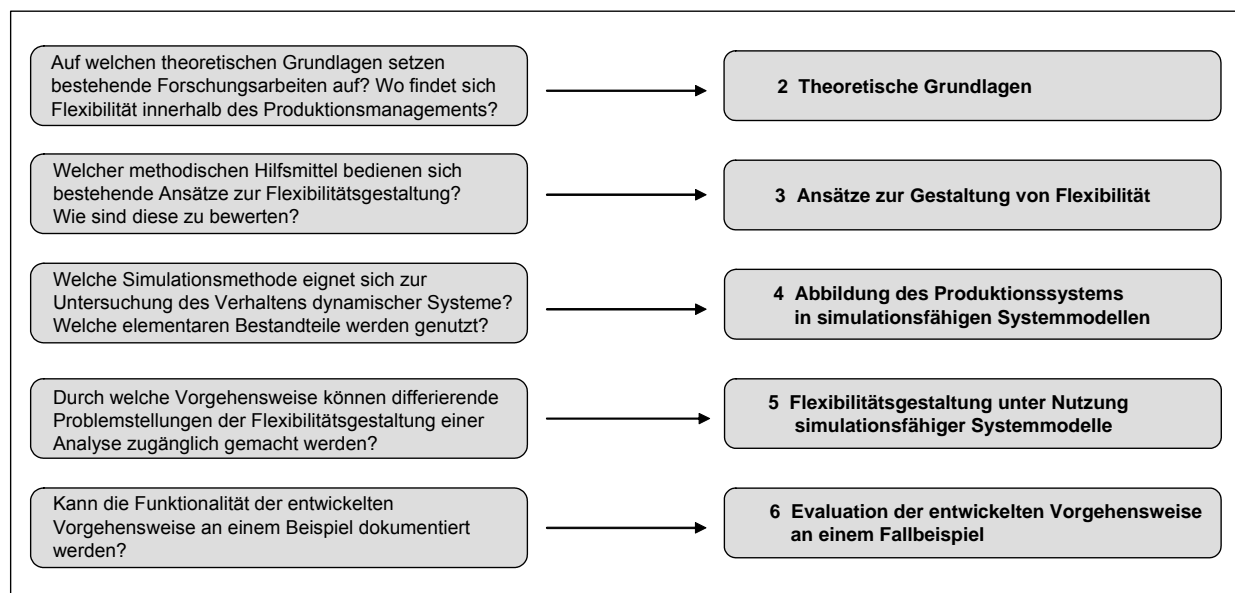


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit¹²

In einem vierten Kapitel wird erarbeitet, in welcher Form das Produktionssystem in einem simulationsfähigen Systemmodell abzubilden ist, um das Systemverhalten analysieren und bei der Flexibilitätsgestaltung unterstützend wirken zu können. Dazu ist eine einführende Auseinandersetzung mit der Modellierung des Produktionsbereiches aus Sicht der Systemtheorie in diskreten und kontinuierlichen Systemmodellen sowie der Analyse der Systemmodelle durch Simulationen notwendig. Ziel ist die Begründung der Auswahl der Simulationmethode und des für die Bearbeitung der Problemstellung geeigneten Simulationswerkzeuges. Im zweiten Teil des vierten Kapitels werden der Aufbau und die elementaren Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle erarbeitet und hinsichtlich der vorliegenden Problemstellung auf Anwendbarkeit geprüft. Der Schwerpunkt der Analyse wird auf Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle gelegt, weil damit das in bestehenden Arbeiten nur in Grenzen berücksichtigte Anpassungsverhalten des Produktionssystems berücksichtigt werden kann. Damit werden die theoretischen Grundlagen für das fünfte Kapitel gelegt.

Im fünften Kapitel folgt die Erarbeitung einer Vorgehensweise zur Flexibilitätsgestaltung unter Nutzung von Erkenntnissen aus den theoretischen Grundlagen, den vorgestellten Ansätzen zur Gestaltung von Flexibilität sowie den erarbeiteten Grundlagen zur Simulationsunterstützung.

Das sechste Kapitel dient der Evaluation der im fünften Kapitel entwickelten Vorgehensweise an einem Fallbeispiel. Für einen Produktionsbereich erfolgen die Gegenüberstellung von Flexibilitätsbedarf und –angebot, die Ableitung hypothetischer Flexibilitätsprobleme sowie die Erstellung und Auswertung eines simulationsfähigen Modells. Das Kapitel endet mit einer kritischen Würdigung der Anwendung der entwickelten Vorgehensweise.

¹² Eigene Darstellung.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Der Flexibilitätsbegriff

2.1.1 Definition des Flexibilitätsbegriffs

Das Wort Flexibilität lässt sich auf das lateinische „flexilis“ zurückführen, was biegsam, anpassungsfähig oder geschmeidig bedeutet. Die Flexibilität eines Produktionssystems beschreibt dessen Fähigkeit, sich veränderten Anforderungen anzupassen und ist damit Ausdruck dafür, ob, wie schnell und in welchem Umfang das Produktionssystem andersartige Aufgaben bewältigen kann.¹³ Dieser Flexibilitätsdefinition kann sowohl reaktive als auch proaktive Anpassungsfähigkeit unterstellt werden. Proaktive Flexibilität setzt die Annahme eines Anpassungsbedarfes voraus, ohne dass dieser zum Betrachtungszeitpunkt existiert. BEHRBOHM bezeichnet ein Produktionssystem „... potentiell bzw. aktuell flexibel, wenn es über fakultative Aktions- und Reaktionsmöglichkeiten ... verfügt, um funktionsgefährdende, zielabträgliche oder zielfördernde Wirkungen eines intern oder extern bedingten, denkbaren bzw. tatsächlich eingetretenen Flexibilitätsbedarfs zu kompensieren oder zu nutzen.“¹⁴

Eine weitere Perspektive eröffnet die Flexibilitätsdefinition von JANSSEN, der Flexibilität beschreibt, „als die Fähigkeit, dynamischer Systeme, das Verhältnis von Systemumwelt und System durch die Realisierung unterschiedlicher Systemzustände so zu gestalten, dass die Systemziele erreicht werden.“¹⁵ Diese Definition unterstellt, dass Marktverhältnisse für ein Unternehmen insbesondere in oligopolistischen oder quasi-monopolistischen Märkten beeinflussbar sind.¹⁶ Sie weist damit einerseits auf die Interaktion mit der Unternehmensumwelt hin und stellt auf der anderen Seite die strategische Perspektive der Flexibilität für ein Unternehmen in den Vordergrund.¹⁷ JANSSEN berücksichtigt bei der Diskussion des Flexibilitätsbegriffes nicht die differenten Hierarchieebenen eines Unternehmens. Mit dem Verweis darauf, dass Strategien, wie z.B. das Anstreben der Innovationsführerschaft oder die Bildung strategischer Allianzen, Instrumente proaktiver Flexibilitätspolitiken sein können¹⁸, stellt JANSSEN allein auf Entscheidungen der strategischen Managementebene ab. In anderen Arbeiten wird die Kopplung von Unternehmen und Unternehmensumwelt auf strategischer Ebene als gegeben vorausgesetzt und andere hierarchische Ebenen werden betrachtet. In der Produktionswirtschaft findet sich auf taktischer und operativer Ebene eine Vielzahl von Flexibilitätsbegriffen, welche die Umweltkopplung als gegeben voraussetzen.¹⁹

¹³ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 489; Corsten, H. (2000), S. 18; HILLMER, der die Begriffe Flexibilität und Anpassungsfähigkeit synonym verwendet. [Hillmer, H.-J. (1987), S. 2.]; Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 8.

¹⁴ Behrbohm, (1985), S. 192.

¹⁵ Janssen, H. (1997), S. 17.

¹⁶ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 17.

¹⁷ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 42, 43.

¹⁸ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 17.

¹⁹ Vgl. beispielsweise Zäpfel, G. (1989a), S. 269; Corsten, H. (2000), Abb. 1.1-14 im Anhang.

Die Flexibilitätsbegriffe unterschieden sich beispielsweise hinsichtlich der zeitlich strukturellen Veränderung des Produktionssystems.²⁰ Eine ausführliche Diskussion und Klassifikation der Flexibilitätsbegriffe auf operativer und taktischer Ebene erfolgt später.

Nach einer eingehenden Untersuchung vorhandener Literatur definiert BEHRBOHM den Flexibilitätsbegriff unabhängig von hierarchischen Ebenen. Flexibilität beschreibt demnach „ (...) die Existenz von Freiheitsgraden (...) bei der zielgerichteten Entscheidungsfindung und –realisation.“²¹

2.1.2 Abgrenzung des Flexibilitätsbegriffs

2.1.2.1 Robustheit und Elastizität

Oft werden in der Literatur Begriffe genutzt, die dem Flexibilitätsbegriff verwandt sind, jedoch nicht als Synonym genutzt werden können. Die Flexibilität lässt sich auf diese Weise gegenüber den Begriffen Robustheit und Elastizität klar abgrenzen. Die Robustheit eines Systems beschreibt sein Vermögen, unempfindlich gegenüber Störungen zu sein.²² Ein robustes System ist im Umkehrschluss bei Umweltveränderungen nicht darauf angewiesen, sich anzupassen. Es verfügt bereits über ein Spektrum an Funktions- und Anpassungsfähigkeiten, die es resistent gegenüber Störungen machen. Aus dieser Perspektive wäre ein System aufgrund seiner immanenten Flexibilität robust. In einem dynamischen Umfeld können Unternehmen jedoch nur in Teilbereichen und nur für begrenzte Zeiträume robust sein.²³ Veränderungen, die bei der Gestaltung eines robusten Systems nicht vorhersehbar waren, führen zu Anpassungsbedarf. Unternehmen müssen deshalb in solchen Fällen Flexibilität besitzen und nutzen können, in denen sie nicht mehr robust sind.²⁴ KRIEG leitet das Begriffspaar Flexibilität und Robustheit aus dem Oberziel jeder Systemgestaltung, der Sicherstellung von Systemkontinuität, ab.²⁵ Die Sicherstellung von Systemkontinuität darf als Synonym für das Oberziel des Unternehmens, seine Überlebensfähigkeit zu sichern, gesehen werden. Um dieses Oberziel zu erreichen, ist es notwendig, über Verhaltensstabilität einerseits und Verhaltensvariabilität andererseits zu verfügen. Die damit bezeichneten Eigenschaften Flexibilität und Robustheit „... sind keine sich ausschließenden, unaufhebbaren Gegensätze, sondern ergänzen und bedingen sich gegenseitig.“²⁶

Elastizität bezeichnet die Änderung einer abhängigen Variablen y relativ zu ihrem vorhergehenden Wert bei relativer Veränderung einer unabhängigen Variable x .²⁷ Mit dem Elastizitätsbegriff lässt sich auf diese Weise die Frage beantworten, wie sich Änderungen in der Systemumwelt auf Änderungen im System auswirken. Allerdings wird darauf hingewiesen, dass mit dem Elastizitätsbegriff lediglich quantitative Änderungen erfasst werden.²⁸ Durch Ausschluss

²⁰ Vgl. Kapitel 2.1.4.2 und 2.1.4.3.

²¹ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 183.

²² Vgl. Schneeweiß, Ch.; Kühn, M. (1990), S. 383.

²³ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 61.

²⁴ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 61.

²⁵ Vgl. Krieg, W. (1971), S. 43.

²⁶ Krieg, W. (1971), S. 43.

²⁷ Vgl. Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 69.

²⁸ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 61; Damisch, P.N. (2002), S. 46.

der qualitativen Dimension wird der Elastizität die Eigenschaft zugeschrieben, nur einen Teilaspekt der Flexibilität abzudecken.²⁹

2.1.2.2 Flexibilität und Kapazität

In der Literatur erfolgt regelmäßig die Einteilung in eine qualitative und eine quantitative Dimension von Flexibilität.³⁰ Die Flexibilitätsdiskussion schließt das Kapazitätsmanagement als Teilbereich mit ein.³¹ Kapazitäts- und Flexibilitätsplanung sind auf diese Weise unmittelbar voneinander abhängig.³² In Vorbereitung auf eine Klassifikation des übergeordneten Flexibilitätsbegriffes erfolgt an dieser Stelle eine Begriffsbestimmung des Kapazitätsbegriffes. Die Kapazität eines produktionswirtschaftlichen Systems besitzt eine quantitative und eine qualitative Komponente. Die quantitative Kapazität beschreibt das mengenmäßige Leistungsvermögen eines Betriebsmittels während einer Periode und ist das Produkt aus maximal möglicher Intensität, maximal möglicher Einsatzzeit und dem maximal nutzbaren Kapazitätsquerschnitt.³³ Dabei beschreibt die Intensität die größtmögliche Geschwindigkeit, mit der ein Betriebsmittel innerhalb einer Periode dauerhaft betrieben werden kann, die Einsatzzeit gibt die nutzbaren Zeiteinheiten innerhalb der Periode an und der Kapazitätsquerschnitt definiert eine Menge gleichartiger Betriebsmittel. Die quantitative Kapazität ergibt sich damit aus³⁴

$$\text{quantitative_Kapazität} = \text{Intensität} * \text{Einsatzzeit} * \text{Kapazitätsquerschnitt}$$

$$\text{Menge / Zeit} = \text{Menge / Zeit} * \text{Zeit} / \text{Zeit} * [\text{ohne Einheit}]$$

Die Dimension der quantitativen Kapazität ist damit als Mengeneinheit je Zeiteinheit definiert. Die vorgenommene Definition der quantitativen Kapazität von Betriebsmitteln lässt sich auf den Potentialfaktor Personal übertragen. Die Intensität setzt sich hier aus der Intensität der Arbeitsabläufe und der vom Qualifikationsstand abhängigen Wirksamkeit der individuellen Arbeitsweise zusammen.³⁵

Die qualitative Kapazität eines Betriebsmittels ist definiert als das Leistungsvermögen eines Betriebsmittels eine nach Art und Güte definierte Leistung zu erbringen, wobei einerseits zwischen Einzweckmaschinen und Mehrzweckmaschinen zu unterscheiden ist.³⁶ Andererseits können gleichartige Betriebsmittel sich in ihrer qualitativen Kapazität durch eine unterschiedliche bisherige Nutzungsdauer und einer daraus folgenden unterschiedlichen Präzision unterscheiden. Die qualitative Kapazität des Potentialfaktors Personal unterscheidet sich aufgrund verschiedener Begabungen, Grundfähigkeiten sowie der augenblicklichen körperlichen Verfassung und Leistungsmotivation der einzelnen Mitarbeiter. Die qualitative Kapazität der Potentialfaktoren

²⁹ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 61.

³⁰ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 270; Kaluza, B. (1989), S. 293.

³¹ Vgl. Corsten, H.; Gössinger, R. (2003), S. 6. Vgl. dazu insbesondere die Begriffsdefinitionen der Begriffe Erweiterungs- und Kompensationsfähigkeit sowie Kapazitätsflexibilität in Kapitel 2.1.4.3.

³² Vgl. etwa WILDEMAN, der die Abhängigkeit zwischen Kapazitäts- und Flexibilitätsplanung anhand unterschiedlich flexibler Fertigungssysteme exemplarisch beschreibt. [Wildemann, H. (1987), S. 102 - 105.]

³³ Vgl. Kaluza, B. (1994), S. 56; Corsten, H. (2000), S. 13.

³⁴ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 7.

³⁵ Vgl. Kaluza, B. (1994), S. 58.

³⁶ Vgl. Kaluza, B. (1994), S. 59, 60; Corsten, H. (2000), S. 13.

Betriebsmittel und Personal bestimmt die Produktqualität, die Ausbeutekoeffizienten der Produktion sowie den Faktorverbrauch.

Zentrales Element der wissenschaftlichen Diskussion einer kapazitätsorientierten Produktionssystemgestaltung sind die Disparitäten zwischen den qualitativen und quantitativen Personalkapazitäten einerseits und den Betriebsmittelkapazitäten andererseits.³⁷ Als Komplexitätstreiber bei dem Bestreben, Kapazitätsnachfrage und Kapazitätsangebot in Einklang zu bringen, werden die steigende Erzeugnisvielfalt und die Vielzahl möglicher Absatz- und Produktionsprogramme genannt.³⁸

2.1.3 Merkmale der Flexibilität

2.1.3.1 Konstituierende Merkmale

Die den Flexibilitätsbegriff konstituierenden Merkmale sind Grundlage für die spätere Aufstellung von Maßzahlen zur Messung der Flexibilität im Rahmen des Flexibilitätsmanagements. Einen Überblick aus dem sich wesentliche Merkmale der Flexibilität ableiten lassen, gibt SCHNEEWEIß.³⁹ Danach kann die Flexibilität eines Systems durch seine Elastizität, durch die Informationssituation, in der es sich befindet sowie durch die Störungsbewertung beschrieben werden. Aus der Definition dieser Merkmale lassen sich weitere konstituierende Merkmale ableiten, wie Tabelle 1 zusammenfassend zeigt.

Tabelle 1: Konstituierende Merkmale des Flexibilitätsbegriffes⁴⁰

Flexibilität wird bestimmt durch	
Elastizität	Informationssituation
Handlungsspielraum, Handlungszeit	Handlungszeit, Mehrstufigkeit
Störungsbewertung	
Kostendimension der Flexibilität	

Bei der Abgrenzung des Flexibilitätsbegriffes von verwandten Begriffen wurde festgestellt, dass die Elastizität an anderer Stelle mit dem Flexibilitätsbegriff gleichgesetzt⁴¹ und innerhalb dieser Arbeit als Teilaspekt der Flexibilität betrachtet wird.⁴² Inhaltlich stehen hinter der Definition des Elastizitätsbegriffes von SCHNEEWEIß die Begriffe Handlungsspielraum und Handlungszeit, die

³⁷ Vgl. Kaluza, B. (1994), S. 61.

³⁸ Vgl. Kaluza, B. (1994), S. 61.

³⁹ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 492.

⁴⁰ In Anlehnung an Schneeweiß, Ch. (1996).

⁴¹ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 268.

⁴² Vgl. Kapitel 2.1.2.1.

auch von anderen Autoren als Flexibilitätsmerkmale beschrieben werden.⁴³ Der Begriff der Informationssituation, welche die Wahrscheinlichkeit, mit der Veränderungen eintreten, beschreibt, steht einerseits in einem unmittelbaren Zusammenhang zum Zeitmerkmal des Flexibilitätsbegriffes.⁴⁴ So setzt die Auslösung von Anpassungsmechanismen das Vorliegen einer Bedarfsinformation voraus, auf die innerhalb einer definierten Zeit reagiert werden kann. Auf der anderen Seite ist die Informationssituation von der Qualität des Prognose-, Planungs- und Führungssystems abhängig.⁴⁵ Dieser Zusammenhang findet sich im Merkmal der Mehrstufigkeit der Flexibilität wieder. Als Störungsbewertung wird von SCHNEEWEIß die ökonomische Bewertung der Konsequenzen nicht erfolgter Anpassungen bezeichnet.⁴⁶ Ein weiteres wichtiges Merkmal der Flexibilität ist damit die Kostendimension der Flexibilität, die auf die anderen vorgestellten Merkmale der Flexibilität aufsetzt. Die Verursachung von Kosten durch Flexibilität ist ein universales Merkmal des Flexibilitätsbegriffes. Es kann eine Kosten verursachende und eine Nutzen stiftende Flexibilitätsdimension unterschieden werden. Neben den von SCHNEEWEIß angesprochenen Flexibilitätsmerkmalen wird von mehreren Autoren übereinstimmend die Handlungsbereitschaft als Bestimmungsgrund der Flexibilität genannt.⁴⁷

2.1.3.2 Handlungsspielraum

Das Vorhandensein eines Handlungsspielraumes kennzeichnet die Fähigkeit eines Systems, mehrere Handlungsalternativen zu besitzen und dadurch unterschiedliche Zustände einnehmen zu können.⁴⁸ Im Produktionsbereich können beispielsweise die immanenten Handlungsalternativen für eine Fertigungsanlage darin bestehen, mehrere Produkte bearbeiten zu können.⁴⁹ Es können mehrere Handlungsspielräume nebeneinander existieren. So kann beispielsweise neben einer bestehenden eine zweite flexible Fertigungsanlage zur Bearbeitung einer anderen Art von Produkten befähigt sein. Diese Fertigungsanlage würde ebenso einen Handlungsspielraum mit mehreren Handlungsalternativen in Form unterschiedlich bearbeitbarer Produkte aufspannen. Handlungsspielräume können qualitative oder quantitative Handlungsalternativen umfassen. Qualitative Handlungsalternativen können beispielsweise unterschiedliche Verrichtungen sein, die auf einer Fertigungsanlage durchgeführt werden können. Quantitative Handlungsalternativen können bei einer Fertigungsanlage in der Form vorliegen, dass die Anlage ein Fahren mit mehreren unterschiedlichen Taktzeiten zulässt. Eine Menge von

⁴³ Vgl. SCHNEEWEIß der zur Begriffsklärung an dieser Stelle mit gleichem Inhalt die Begriffe Aktionsvolumen und Reagibilität nutzt. [Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 492.]; Vgl. sonst auch Janssen, H. (1997); Damisch, P.N. (2002); Thielen, C.A.L. (1993); MAIER spricht von Aktionsspielräumen und Anpassungsintervallen. [Vgl. Maier, K. (1982)].

⁴⁴ Vgl. hierzu insbesondere MÖSSNER, der auf Ansoffs Ansatz der „Strategic Issue Analysis“ referenziert. In diesem wird postuliert, dass der über die Zeit zunehmende Informationsstand dazu genutzt werden kann, Anpassungsstrategien über die Zeit immer gezielter zu gestalten. [Vgl. Mössner, G.U. (1982), S. 2-3.] Auch ungeachtet dieses Hintergrundes besteht ein direkter Bezug zwischen Informationssituation und Handlungszeit. So setzt in der Regel die Auslösung von Anpassungsmechanismen das Vorliegen einer Bedarfsinformation voraus.

⁴⁵ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 496, 497.

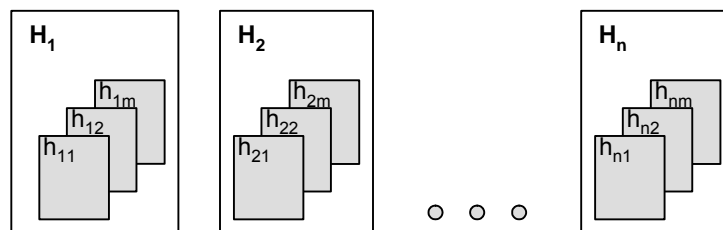
⁴⁶ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 492.

⁴⁷ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 24; Janssen, H. (1997), S. 24; Damisch, P.N. (2002), S. 61.

⁴⁸ Vgl. Janssen, H. (1997).

⁴⁹ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 52.

Handlungsspielräumen bildet einen übergeordneten Handlungsspielraum, wie Abbildung 2 zeigt.⁵⁰



$$H_{\text{uebergeordnet}} = \{H_1(h_{11}, h_{12}, \dots, h_{1m}), H_2(h_{21}, h_{22}, \dots, h_{2m}), \dots, H_n(h_{n1}, h_{n2}, \dots, h_{nm})\}$$

Abbildung 2: Definition von Handlungsspielräumen⁵¹

Ein Produktionssystem ist demnach aufgrund der Summe seiner Handlungsspielräume dazu befähigt, ein bestimmtes Spektrum an Produkten mit einer definierten Art, Güte und Menge herzustellen.

2.1.3.3 Handlungszeit

Ein weiteres Flexibilitätsmerkmal ist die Zeit, die notwendig ist, zwischen Handlungsalternativen zu wechseln oder neue Handlungsalternativen zu erstellen. In der Flexibilitätsdiskussion werden Begriffe wie Reagibilität, Handlungsschnelligkeit, Reaktionsschnelligkeit, Handlungsgeschwindigkeit oder notwendige Anpassungszeit genutzt, um dieses Merkmal zu charakterisieren.⁵² Allen Begriffsdefinitionen gemein ist die Intention, dass auf die Zeit, mit der Veränderungen von einem Ausgangszustand zu einem Zielzustand vollzogen werden, fokussiert wird. Im Folgenden soll im Sinne der Nutzung eines einheitlichen Vokabulars von Handlungszeit gesprochen werden.

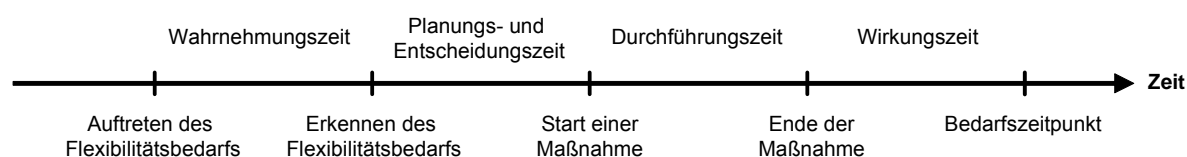


Abbildung 3: Bestandteile der Handlungszeit⁵³

Die Handlungszeit setzt sich aus verschiedenen Zeitverzögerungen zusammen, die bei einem Anpassungsprozess auftreten. Bei Auftreten eines Flexibilitätsbedarfes durch drohende oder aktuelle Disparitäten zwischen dem Produktionssystem und der Systemumwelt, werden Handlungen notwendig. Die Wahrnehmung von Veränderungen und die Planungs- und

⁵⁰ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 492; DAMISCH bezeichnet diesen als Aktionsvolumen. [Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 47.]

⁵¹ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 22 ff.; Damisch, P.N. (2002), S. 47;

⁵² Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 49; Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 492; Hillmer, H.-J. (1987), S. 23; Mössner, G.U. (1982), S. 44.

⁵³ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 50; Dormayer, H.-J. (1986), S. 150; Behrbohm, P. (1986) S. 255; Mössner, G.U. (1982), S. 46.

Entscheidungsprozesse, welcher Flexibilitätsbedarf aus den Veränderungen resultiert, beanspruchen Zeit. Ebenso muss für die Entscheidung über zu treffende Maßnahmen sowie für die Durchführung und Wirkung der Maßnahmen Zeit eingeplant werden.

Auswahl und Durchführung von Handlungen im Rahmen der gegebenen Handlungsspielräume verfehlen ihr Ziel, Chancen zu nutzen oder Gefahren abzuwehren, wenn sie zum falschen Zeitpunkt erfolgen.⁵⁴ Anzustreben ist eine Aktivierungs- und Durchführungsgeschwindigkeit von Maßnahmen, die Disparitäten gar nicht erst entstehen lässt. Entscheidend ist bei diesem Bestreben die irrealen Annahme, dass vollständige Information vorliegt. Bei vollständiger Unsicherheit würde die Aktivierungs- und Durchführungsgeschwindigkeit dem gegenüber theoretisch gegen unendlich gehen und der vorhandene Handlungsspielraum wäre wertlos.

Grundsätzlich existieren zwei Möglichkeiten, den negativen Wirkungen von Handlungszeit zu begegnen. Zunächst ist es möglich, die Struktur und Funktionsweise des Planungs- und Entscheidungssystems innerhalb der Unternehmensorganisation zu verbessern um Verzögerungszeiten zu verkürzen.⁵⁵ Innerhalb der wissenschaftlichen Flexibilitätsdiskussion wird demgegenüber angestrebt, ein entsprechendes „Vorhalteverhalten“ zu erzeugen, welches erlaubt, systemzielbedrohende bzw. –fördernde Entwicklungen durch Frühwarnsysteme vorauszusagen, um Verzögerungszeiten zu neutralisieren.⁵⁶ Im Idealfall können auf diese Weise der Bedarfszeitpunkt bzw. -zeitraum genau prognostiziert und entsprechende Flexibilitäten exakt für diesen Einsatzfall aufgebaut werden. Die Anzahl der Alternativen eines Handlungsspielraumes übersteigt in der Regel die Anzahl von zwei, so dass die in Abbildung 3 vorgenommene eindimensionale Abbildung der Handlungszeit nicht ausreicht. Bei Vorliegen mehrerer Handlungsalternativen in einem Handlungsspielraum können diese in Form einer Matrix abgebildet werden.

2.1.3.4 Handlungsbereitschaft

Die Handlungsbereitschaft kann als die Differenz zwischen dem möglichen Flexibilitätspotential und der nutzbaren Flexibilität eines Unternehmens bezeichnet werden.⁵⁷ Kennzeichnend für die Handlungsbereitschaft ist, inwieweit das Unternehmen in der Lage ist, vorhandene Handlungsspielräume mit gegebener Handlungsschnelligkeit auch ausnutzen zu können.⁵⁸ Hier wird unterstellt, dass einige Flexibilitätspotentiale nicht erschlossen werden können und realiter latent ruhen.

Betrachtungsgegenstand sind entsprechend der Aktionsforschung aus sozialwissenschaftlicher Sicht Flexibilitätsträger in Form von Aktionssubjekten.⁵⁹ Diese Sichtweise begründet, dass die Handlungsbereitschaft durch das Verhalten der Aktionssubjekte, also der innerbetrieblichen Akteure, determiniert wird. Kognitives Verhalten beruht auf den Fähigkeiten eines Akteurs,

⁵⁴ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 23.

⁵⁵ Vgl. Diesem vordergründigen Bestreben liegt die Annahme zugrunde, dass das Planungs- und Entscheidungssystem objektiv fassbar und optimierbar ist.

⁵⁶ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 254, 255; Hopfmann, L. (1989), S. 40, 41.

⁵⁷ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 24; Hillmer, H.-J. (1987), S. 24.

⁵⁸ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 24.

⁵⁹ Vgl. zur Klassifikation von Flexibilitätsträgern Kapitel 2.1.4.1.

qualitative und quantitative Informationen aus der Umwelt wahrzunehmen und die aufgenommenen Informationen auf ein Ziel gerichtet weiterzuverarbeiten. Das Rollenverhalten beschreibt die Fähigkeit, unterschiedliche Tätigkeiten durchführen zu können.⁶⁰ Für MEFFERT sind die Bereiche „der Organisation, des Personals und der Führungssysteme“ Gegenstand der Handlungsbereitschaft.⁶¹ An anderer Stelle werden eine problemadäquate Informationsversorgung, die Fähigkeit zur zweckentsprechenden Selektion der jeweils vorteilhaftesten Handlungsalternative sowie verhaltensorientierte Aspekte als Determinanten der Handlungsbereitschaft vorgestellt.⁶² Die Handlungsbereitschaft beeinflussende Faktoren, die auf das Verhalten und die Motivation einzelner Akteure zurückzuführen sind, werden von JANSSEN unter dem Begriff individuelle Handlungsbereitschaft zusammengefasst.⁶³ Mögliche Widerstände gegen Anpassungen resultieren hier beispielsweise aus Ängsten vor dem Verlust von Kompetenzen, Aufstiegschancen oder Einkommen.⁶⁴ Unter Handlungsbereitschaft finden demnach „Wollen“ und „Können“ gleichermaßen Berücksichtigung.

Die Resultierende aus Handlungsspielraum, Handlungszeit und Handlungsbereitschaft wird als Flexibilitätspotential bezeichnet.⁶⁵ Jede der unterschiedlichen hierarchischen Ebenen des Unternehmens verfügt über Flexibilitätspotential. Die Nutzung von Flexibilitätspotential verursacht Kosten.

2.1.3.5 Mehrstufigkeit

Die Flexibilität eines Systems wird wesentlich durch seine Prognose-, Planungs- und Führungsfähigkeit bestimmt.⁶⁶ Bei guter Prognosefähigkeit ist es möglich, Veränderungen der Umwelt schnell und genau zu erfassen. Die Planungsfähigkeit beschreibt das Vermögen, das erforderliche Flexibilitätspotential genau zu bestimmen. Die Führungsfähigkeit gibt Aufschluss darüber, inwieweit es möglich ist, Entscheidungen durchzusetzen. Mehrstufigkeit beschreibt die Fähigkeit von dynamischen soziotechnischen Systemen, die eigene Flexibilität zu verändern.⁶⁷ Die Prognose-, Planungs- und Führungsfähigkeit eines Produktionssystems kommt dieser Forderung in Form einer Flexibilität zweiter Ordnung nach, wie im Folgenden gezeigt wird.

Flexibilität zweiter Ordnung findet ihren Ausdruck darin, dass ein Flexibilitätspotential mit gegebener Handlungsbereitschaft sowie gegebenem Handlungsspielraum mit definierten Handlungsalternativen und -zeiten verändert werden kann, indem die Ausprägungen einer dieser Bestimmungsgründe veränderbar sind.⁶⁸ Veränderbar bedeutet, dass eine Wahlmöglichkeit zwischen verschiedenen Handlungsspielräumen besteht und/oder die Handlungszeiten variabel sind und/oder Handlungsbereitschaft veränderbar ist. Der mittels des Prognose-, Planungs- und

⁶⁰ Vgl. Maier, K. (1982), S. 142.

⁶¹ Vgl. Meffert, H. (1985), S. 126.

⁶² Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 26.

⁶³ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 26.

⁶⁴ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 71.

⁶⁵ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 28.

⁶⁶ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 496, 497.

⁶⁷ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 31.

⁶⁸ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 31. JANSSEN vernachlässigt bei seiner Aufzählung der Bestimmungsgründe die Handlungsbereitschaft.

Führungssystems ausgewählte Handlungsspielraum beinhaltet die Handlungsalternativen, die auf der jeweils untergeordneten Ebene genutzt werden können.

Exemplarisch gegeben sei ein Produktionssystem, welches den Handlungsspielraum besitzt, auf einer Fertigungsanlage x Produktarten zu produzieren. Die Handlungszeit lässt sich mit einer Taktzeit von y Sekunden definieren, die für alle Produktarten als konstant angenommen wird. Das System ist in der durch den vorhandenen Handlungsspielraum und die vorhandene Handlungszeit gegebenen Flexibilität erster Ordnung vollkommen flexibel und kann die Produktpalette mit x Produktarten vollständig bedienen.

An seine Grenzen stößt das System beim Auftreten eines Flexibilitätsbedarfes, der innerhalb des bestehenden Handlungsspielraumes nicht gedeckt werden kann. So kann ein Flexibilitätsbedarf in der Form auftreten, dass eine höhere Ausbringungsmenge bzw. verringerte Taktzeiten oder die Fertigung weiterer Produktarten gefordert werden, wobei dies mit dem bestehenden Flexibilitätspotential nicht realisiert werden kann. Besitzt das System nun die Fähigkeit,

- diese Bedarfsänderung im Falle der Regelung zu erkennen oder im Falle der Steuerung zu prognostizieren und
- dieser Bedarfsänderung durch einen Wechsel oder eine Modifikation des Handlungsspielraumes und/oder durch Änderung der Handlungszeit innerhalb von Handlungsspielräumen ein geeignetes Flexibilitätspotential gegenüberzustellen und
- diese Bedarfsänderung zu antizipieren⁶⁹,

so verfügt es über eine Flexibilität zweiter Ordnung.⁷⁰ An anderer Stelle wird die Flexibilität erster Ordnung als Realisationsflexibilität und die Flexibilität zweiter Ordnung als Planungsflexibilität bezeichnet.⁷¹ Handlungsspielräume, die auf einer hierarchischen Ebene Anwendung finden und genutzt werden, werden damit zu Handlungsalternativen einer übergeordneten Ebene. Das Ergebnis der Prognose- Planungs- und Führungstätigkeiten der übergeordneten Ebene bietet auf diese Weise die Voraussetzungen für die Flexibilität der jeweils untergeordneten Ebene.⁷²

Flexibilität zweiter Ordnung findet ihren Ausdruck jedoch nicht nur darin, Flexibilität erster Ordnung zu planen, sondern es wird die Anforderung gestellt, dass sie selbst flexibel ist. MÖSSNER spricht in diesem Fall von einer Dualität hinsichtlich der „Planung der Flexibilität“ und der „Flexibilität der Planung“.⁷³ Im Sinne der „Flexibilität der Planung“ ist ein Plan dann flexibel, wenn auf Umweltveränderungen mit einer Plananpassung reagiert werden kann.⁷⁴ MAIER spricht davon, dass Planungsverfahren dann flexibel sind, wenn es möglich ist, Entscheidungen nachträglich zu korrigieren oder zu revidieren, Pläne veränderlichen Bedingungen laufend und systematisch anzupassen, Entscheidungen auf einen späteren

⁶⁹ Hier findet sich der Hinweis auf das notwendige Vorliegen von Handlungsbereitschaft.

⁷⁰ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 31.

⁷¹ Vgl. Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 70, 71.

⁷² Vgl. Dormayer, H.-J. (1986), S. 135.

⁷³ Vgl. Mössner, G.U. (1982), S. 115 ff..

⁷⁴ Vgl. Dormayer, H.-J. (1986), S. 135, 138.

Zeitpunkt zu verschieben, bedingte Entscheidungen für alternative Zukunftskonstellationen zu treffen sowie Ungewißheitszu- oder -abschläge, Toleranzen oder Sicherheitsbestände für bestimmte Plangrößen anzusetzen.⁷⁵

2.1.3.6 Flexibilitätskosten

Die durch Flexibilität verursachten Kosten spannen drei Kostendimensionen in Form von Kosten für den Flexibilitätsaufbau, Kosten für das Vorhalten von Flexibilität und Kosten für auftretende Inflexibilität auf, wobei sich diese Dimensionen vereinen lassen, indem sie gemeinsam die Gesamtkosten für die Flexibilitätsnutzung determinieren.⁷⁶

Zunächst verursacht der Aufbau von Flexibilität Kosten. Flexibilitätsaufbau zeigt sich in der Form des Aufbaues von Handlungsspielräumen, in der Erweiterung bestehender Handlungsspielräume um weitere Handlungsalternativen oder in der Änderung von Handlungszeit und Handlungsbereitschaft. Alle Aktivitäten des Flexibilitätsaufbaus sind mit einer Änderung von Flexibilitätspotentialen verbunden. Die Änderung von Flexibilitätspotentialen setzt auf diese Weise eine Modifikation von oder eine Veränderung der Anzahl an Flexibilitätsträgern voraus. Einerseits können vorhandene Objekte und Prozesse verifiziert werden, indem beispielsweise Mitarbeiter qualifiziert oder Anlagen auf eine neue Fertigungstechnologie umgerüstet werden. Andererseits können Objekte und Prozesse hinzugenommen werden, indem beispielsweise neue Mitarbeiter eingestellt werden oder neue Anlagen gekauft werden.⁷⁷ Für die Modifikation von Flexibilitätsträgern werden Ressourcen beansprucht.⁷⁸ Im Zeitraum des Aufbaus von Flexibilitätspotentialen stehen diese dann dem betrieblichen Leistungserstellungsprozess nicht zur Verfügung oder sie müssen extern beschafft werden.

Sind die Flexibilitätspotentiale geschaffen, so verursacht deren Vorhalten ebenfalls Kosten, indem beispielsweise der Fixkostenblock für den Anlagenpark steigt oder die Personalkosten aufgrund eines höheren Qualifikationsniveaus steigen. Vorhaltekosten entstehen, wenn Flexibilitätspotentiale aufgebaut wurden, bevor sie genutzt werden. Kosten durch den Aufbau und das Vorhalten von Flexibilität sind damit Kosten in Form einer Versicherungsprämie gegen potentielle zukünftige Veränderungen.

Setzt man einen Aufbau von Flexibilitätspotentialen als Reaktion auf auftretende Bedarfe voraus, kommt es zu keinen Vorhaltekosten, sondern zu Kosten durch Inflexibilität. Das Unternehmen ist in einem Zustand, in dem die notwendige Flexibilität nicht vorgehalten wird, nicht in der Lage, wie erforderlich zu reagieren. Inflexibilitätskosten entstehen in Form tatsächlich anfallender Kosten, wie beispielsweise durch die Zahlung von Konventionalstrafen

⁷⁵ Vgl. Maier, K. (1982), S. 72-74.

⁷⁶ Vgl. BEHRBOHM, der die Kosten vorgehaltenen Flexibilitätspotentials und von Inflexibilität gegenüberstellt. [Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 256 – 260]; Vgl. auch DORMAYER, der neben den Kosten für Aufbau und Bereitstellung von Flexibilitätspotential Flexibilitätsnutzungskosten definiert. [Vgl. Dormayer, H.-J. (1986), S. 146-148.]

⁷⁷ Vgl. hierzu die Unterscheidung in Bestands- und Entwicklungsflexibilität.

⁷⁸ Vgl. zu den Mehrkosten durch Flexibilitätsmaßnahmen Mössner, G.U. (1982), S. 332, 333.

bei Terminverzug oder durch Opportunitätskosten, wie beispielsweise durch einen Gewinnentgang aufgrund entgangener Umsätze.⁷⁹

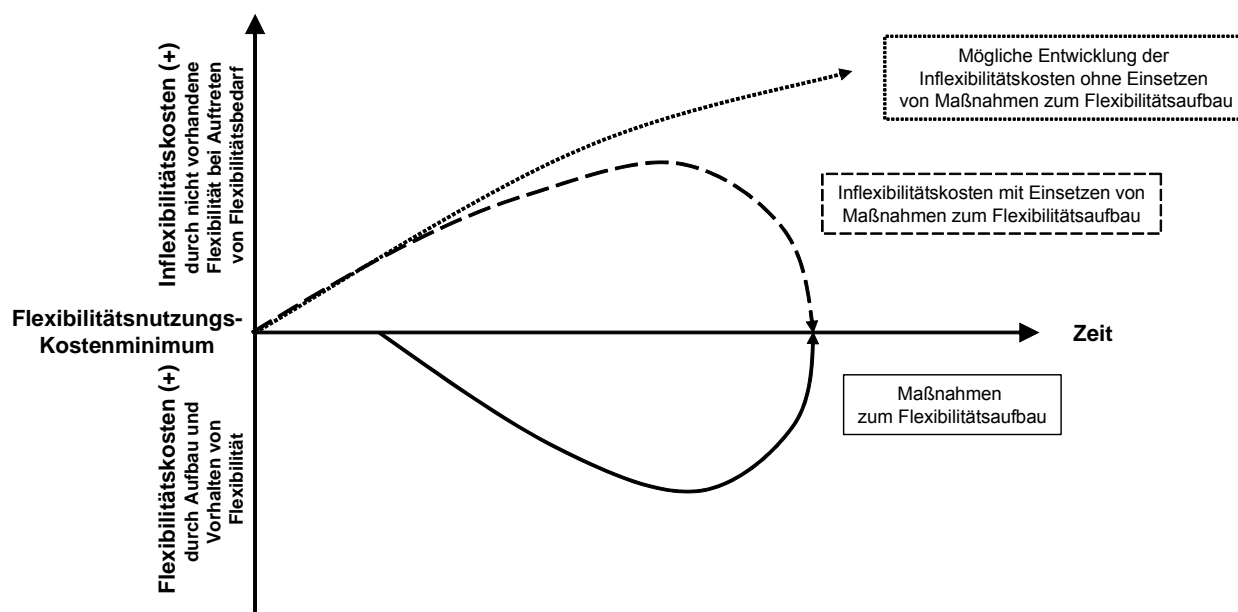


Abbildung 4: *Flexibilitätskosten*⁸⁰

Die Resultierende der drei Kostendimensionen der Flexibilität ergibt die Kosten durch Nutzung der geschaffenen Flexibilitätspotentiale.⁸¹ Die Nutzungskosten sind die Summe der Kosten, die durch den Aufbau und das Vorhalten der Flexibilität auf der einen Seite und die Kosten durch Inflexibilität auf der anderen Seite entstehen. Wenn eine volle Abstimmung zwischen Flexibilitätsbedarf und -angebot gewährleistet ist, haben die Nutzungskosten ihr Minimum erreicht. Dies zeigt sich beispielsweise in minimalen Stückkosten. Aufgrund unvollständiger Informationen, daraus resultierender Prognosefehler bei der Bestimmung der erforderlichen Flexibilität und zeitlicher Verzögerungen beim Flexibilitätsaufbau, ist eine vollständige Überdeckung in der Realität nie gewährleistet. Die dadurch entstehende gegenläufige Tendenz von Flexibilitätskostenvorteilen und –nachteilen wird als Dilemma der Flexibilitätsplanung bezeichnet.⁸²

Da von den Erfolgskomponenten Erlöse und Kosten durch den Produktionsbereich im Wesentlichen die Kosten beeinflusst werden, kann als Unterziel des Produktionsbereichs die Minimierung der Kosten zur Realisierung eines bestimmten Produktprogramms bezeichnet werden.⁸³ Die Ermittlung des Nutzens durch den Aufbau von Flexibilität, der sich in einer Verminderung von Risiken oder der Erhöhung von Erfolgen bestimmter Projekte zeigt, erfolgt

⁷⁹ Vgl. zu diesen Beispielen Behrbohm, P. (1985), S. 260.

⁸⁰ In Anlehnung an: Behrbohm, P. (1985), S. 259.

⁸¹ Vgl. Dormayer, H.-J. (1986), S. 146, 147.

⁸² Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 258; Dormayer, H.-J. (1986), S. 147.

⁸³ So werden bei der Zielverfolgung im Produktionsbereich vielfach Kosteneinflussgrößen genutzt, wie z.B. Umrüstkosten für Umrüstzeiten, für die Lagerkosten die Lagermengen unter Berücksichtigung der Lagerdauer, für die Fehlmengenkosten die Fehlmengen unter Berücksichtigung der Lieferzeitüberschreitung, für die Transportkosten die Transportgewichte und die zu überbrückenden Entfernungen, für die Abfallkosten die Abfallmengen und für die Prozesskosten die Durchlaufzeiten.

in der wissenschaftlichen Diskussion des Flexibilitätsbegriffes aufgrund der im Zeitverlauf schwankenden und in der Realität nie vorhandenen Überdeckung primär ohne exaktes Kalkül. Vereinfachend werden beispielsweise bestimmte Handlungsstrategien angenommen und deren Realisierung mit dem geringsten Investitionsaufwand wird geprüft.⁸⁴

2.1.4 Klassifikation des Flexibilitätsbegriffes

2.1.4.1 Flexibilitätsträger

Der Flexibilitätsbegriff kann unter Nutzung unterschiedlicher Kriterien klassifiziert werden, wobei die Klassifikation des Produktionssystems auf zwei Ebenen erfolgen kann, die sich durch ihren Grad der Abstraktion unterscheiden. Zunächst finden sich in der Literatur Unterteilungen, die eine Klassifikation von Anpassungsprozessen auf einer höheren Abstraktionsebene erlauben, wobei als Klassifikationskriterium die zeitliche Strukturvariabilität des betrachteten Systems in qualitativer und quantitativer Hinsicht genutzt wird. Mit diesem Kriterium wird die Eigenschaft eines Systems beschrieben, Art und Anzahl seiner Elemente im Zeitverlauf variieren zu können. Daraus folgt eine Unterteilung in Bestands- und Entwicklungsflexibilität in die sich nahezu alle in der wissenschaftlichen Literatur genutzten Flexibilitätsbegriffe einordnen lassen.⁸⁵ Dieses Klassifikationsschema ist Grundlage der Arbeit.

Produktionstechnische Flexibilitätsbegriffe werden zur Klassifikation von Anpassungsprozessen des Produktionssystems genutzt, wobei die Potentialfaktoren als grundlegendes Klassifikationskriterium dienen.⁸⁶ Die produktionstechnischen Flexibilitätsbegriffe fördern das Verständnis für Flexibilität in Produktionssystemen und geben den aktuellen Stand der Forschung wieder. Sie werden in die Flexibilitätsbegriffe auf höherer Abstraktionsebene eingeordnet⁸⁷, weil das Produktionssystem in dieser Arbeit aus systemtheoretischer Sicht als Teilsystem des Unternehmens Untersuchungsgegenstand ist.⁸⁸

Eingeleitet wird die Klassifikation des Flexibilitätsbegriffes durch die Definition von Flexibilitätsträgern. Flexibilitätsträger bezeichnen die Systemelemente, die bei der Gestaltung von Flexibilität Untersuchungsgegenstand sind. Mit der Definition von Flexibilitätsträgern werden auf diese Weise die Gegenstandsbereiche von Flexibilitätsänderungen benannt.⁸⁹ Innerhalb des taktischen und operativen Produktionsmanagements stützt sich die Definition von Flexibilitätsträgern auf die das Produktionssystem konstituierenden Potentialfaktoren sowie auf deren Beziehungen und deren Verhalten. KALUZA bezeichnet die technologische und die personelle Flexibilität als Flexibilitätsarten und benennt damit indirekt Technologie

⁸⁴ Vgl. beispielsweise Schuh, G.; Wemhöner, A.; Kampker, A. (2004). Mehr zur Ermittlung von Flexibilitätskosten bei der Vorstellung bestehender Ansätze unter Kapitel 3 und bei der Erarbeitung der Vorgehensweise unter Kapitel 5.

⁸⁵ Eine Ausnahme wird in Kapitel 2.1.4.3 beschrieben.

⁸⁶ Vgl. Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 70.

⁸⁷ Vgl. zur Einordnung Kapitel 2.1.4.3.

⁸⁸ Vgl. Kapitel 2.2.2.1.

⁸⁹ Den Begriff Flexibilitätsträger nutzt JANSSEN. [Janssen, H. (1997), S. 32.] An anderer Stelle wird von Flexibilitätsgeneratoren [Vgl. Bunz, A.; Hopfmann, L. (1987), S. 217.] oder aus der Perspektive der Aktionsforschung von Aktionsträgern [Vgl. Maier, K. (1982), S. 132.] gesprochen.

beziehungsweise Betriebsmittel und Personal als Flexibilitätsträger.⁹⁰ Auf der strategischen Ebene erfolgt der Blick auf die Gestaltung von Potentialfaktoren aus einer abstrahierenden Sicht. Die unterschiedlichen hierarchischen Ebenen betrachten Flexibilitätsträger auf unterschiedlichen Abstraktionsstufen. Aus diesem Grund soll eine von der gewählten Abstraktionsebene unabhängige, das Vokabular der Aktionsforschung nutzende Beschreibung von Flexibilitätsträgern verwendet werden, die sich bei MAIER findet.⁹¹

MAIER unterscheidet Aktionselemente in Aktionssubjekte, Aktionsmittel und Aktionsobjekte und sieht in diesen Aktionselementen die Entstehungskomponenten der Flexibilität.⁹² Aktionssubjekte sind unternehmensinterne Akteure, welche ein bestimmtes kognitives Verhalten und Rollenverhalten aufweisen.⁹³ Aktionsmittel sind technische Potentialfaktoren, die sich im Produktionssystem befinden und es durch ihre Menge sowie Art und Güte beeinflussen.⁹⁴ Aktionssubjekte und Aktionsmittel weisen demnach jeweils quantitative und qualitative Komponenten auf. Aktionsobjekte sind definiert als die Summe der notwendigen Input- und Outputfaktoren des Leistungserstellungsprozesses.⁹⁵ Die Flexibilität von Outputobjekten wird beispielsweise durch den Grad ihrer Verwendbarkeit bestimmt. In der Produktionswirtschaft fallen darunter beispielsweise die Diskussionen um Baukastensysteme.⁹⁶ Die Gestaltung der Flexibilität von Aktionsobjekten ist nicht Gegenstand dieser Arbeit.

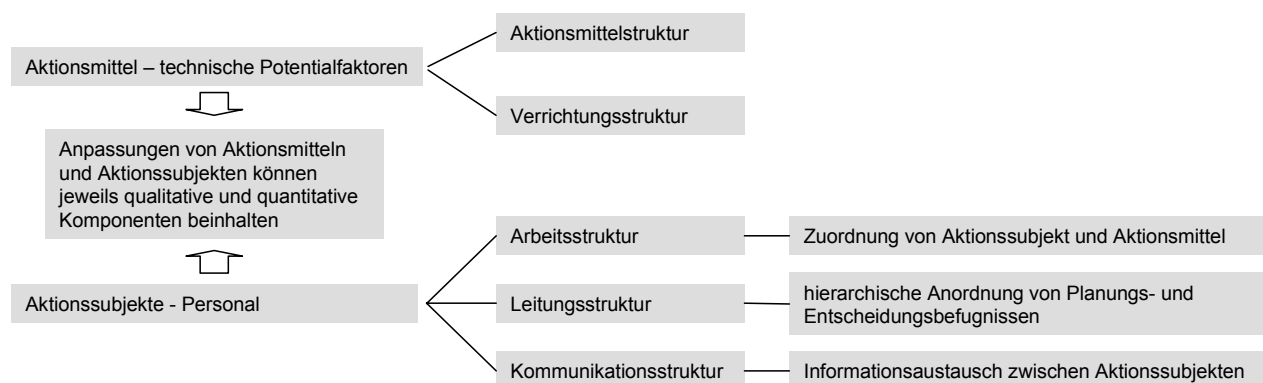


Abbildung 5: Flexibilitätsträger⁹⁷

Als Kriterium zur Klassifikation von Flexibilitätsträgern wird von MAIER ihre Anordnung und Struktur im Unternehmen genutzt.⁹⁸ Die Aktionsmittelstruktur bezeichnet die verrichtungsbezogene Homogenität von Aktionsmitteln. Sie ist dadurch gekennzeichnet,

⁹⁰ Vgl. Kaluza, B. (1989), S. 293.

⁹¹ Vgl. Maier, K. (1982), S. 137-171.

⁹² Vgl. Maier, K. (1982), S. 132. Neben die Aktionselemente stellt er Aktionsziele. Die Einordnung der Aktionselemente in das Zielsystem erfolgt unter Kapitel 2.2.

⁹³ Vgl. Maier, K. (1982), S. 137-142.

⁹⁴ Vgl. Maier, K. (1982), S. 143-148.

⁹⁵ Vgl. Maier, K. (1982), S. 148-154; ZÄPFEL definiert beispielsweise die Outputobjekte als Arbeitsobjekte, die den Leistungserstellungsprozess in der Form verlassen, dass sie im Sinne der Arbeitsaufgabe in ihrer Form, Eigenschaft oder Lage verändert wurden. [Vgl. Zäpfel, G. (1989b), S. 97.]

⁹⁶ Vgl. Corsten, H. (2000), S. 142.

⁹⁷ In Anlehnung an die Klassifikation der Entstehungskomponenten von Flexibilität durch Maier, K. (1982).

⁹⁸ Vgl. Maier, K. (1982), S. 155 ff..

inwieweit die Mengen der Verrichtungsmöglichkeiten von Aktionsmitteln sich überschneiden.⁹⁹ Die Verrichtungsstruktur gibt Auskunft darüber, wie unabhängig sich die Aktionsmittel bei der Festlegung der Art und Folge von Verrichtungen einsetzen lassen.¹⁰⁰ Die Strukturen der Aktionssubjekte werden in Arbeitsstruktur, Leitungsstruktur und Kommunikationsstruktur unterschieden.¹⁰¹ Die Arbeitsstruktur beschreibt die Zuordnungsbeziehungen zwischen Arbeitssubjekt und Arbeitsmittel. Die Leitungsstruktur gibt Auskunft über die hierarchische Anordnung der Arbeitssubjekte in der Organisation, die durch Über- und Unterordnungsverhältnisse und damit verbundene Planungs- und Entscheidungsbefugnisse gekennzeichnet ist. Mit der Kommunikationsstruktur werden die informatorischen Verbindungen zwischen den Aktionsträgern eines Leistungsprozesses beschrieben.

Das Verhalten von Flexibilitätsträgern in Raum und Zeit kann durch ihr Flexibilitätspotential, also deren Handlungsspielräumen, Handlungszeiten und Handlungsbereitschaft beschrieben werden. Es ist möglich, dass Flexibilitätspotentiale nicht erschlossen werden, weil technische und personelle Flexibilitätsträger untereinander sowie miteinander bezüglich Handlungsspielraum und Handlungsgeschwindigkeit nicht angepasst sind.¹⁰²

2.1.4.2 Bestands- und Entwicklungsflexibilität

Bestehende Flexibilitätspotentiale geben in einem Unternehmen einen Spielraum vor, innerhalb dessen es agieren kann.¹⁰³ Kurzfristige Flexibilitätsbedarfe können durch den so vorhandenen Spielraum abgedeckt werden. Diese systemimmanente Flexibilität wird als Bestandsflexibilität bezeichnet.¹⁰⁴ Treten Flexibilitätsbedarfe auf, die durch den vorhandenen Spielraum nicht abgedeckt werden können, wird eine Aus- und Umgestaltung des Unternehmens notwendig. Das Unternehmen ist gezwungen, sich zu entwickeln. Anpassungen, die über den Rahmen betrieblicher Gegebenheiten hinausgehen, werden als Entwicklungsfähigkeit bezeichnet.¹⁰⁵

Darüber hinaus wird bei der Klassifizierung des Flexibilitätsbegriffes die Zeitkomponente, integriert. Danach dient die Bestandsflexibilität vornehmlich dazu, kurzfristig auftretenden Flexibilitätsbedarf einzelfallspezifisch abzudecken.¹⁰⁶ Die Bestandsflexibilität beruht damit auf bereits geschaffenen Optionen der Kapazitätsnutzung beziehungsweise auf Gegebenheiten, die durch frühere Entscheidungen definiert wurden und die für den aktuellen Zeitraum

⁹⁹ Im Sinne Produktionswissenschaftlicher Flexibilitätsbegriffe kann darunter die Kompensationsfähigkeit von Potentialfaktoren verstanden werden. Vgl. Kapitel 2.1.4.3.

¹⁰⁰ Im Sinne Produktionswissenschaftlicher Flexibilitätsbegriffe kann darunter die Durchlaufreizfähigkeit von Potentialfaktoren verstanden werden. Vgl. Kapitel 2.1.4.3.

¹⁰¹ Vgl. Maier, K. (1982), S. 165-172.

¹⁰² Vgl. Janssen, H. (1997), S. 43.

¹⁰³ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 67.

¹⁰⁴ Vgl. Jacob, H. (1974a), S. 322; Mössner, G.U. (1982), S. 71; Thielen, C.A.L. (1993), S. 67;.

¹⁰⁵ Vgl. Jacob, H. (1974a), S. 323; Mössner, G.U. (1982), S. 71, 72; Thielen, C.A.L. (1993), S. 67, 68. Auch CORSTEN unterscheidet bei der Klassifikation des Flexibilitätsbegriffes zwischen Flexibilität innerhalb der Strukturen eines vorhandenen Produktionssystems und Flexibilität die sich darauf gründet, dass das Produktionssystem um Elemente erweitert oder reduziert wird. [Vgl. Corsten, H. (2000), S. 20 und Abb. 1.1-14 im Anhang.]

¹⁰⁶ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 67; HALLER spricht hier von strategischer und operativer Flexibilität. [Vgl. Haller, M. (1999), S. 76-78.]

unveränderlich sind.¹⁰⁷ Die Entwicklungsflexibilität hingegen beinhaltet eine langfristige und umfassend ausgerichtete Aus- und Umgestaltung des vorhandenen Systems.¹⁰⁸ Im Rahmen der Entwicklungsflexibilität erfolgt somit, zum Beispiel durch eine Änderung des Bestandes an Potentialfaktoren, eine Anpassung des Produktionssystems an langfristige Umweltveränderungen.¹⁰⁹ Bestands- und Entwicklungsflexibilität sprechen auf diese Weise Unterschiede in der zeitlichen und strukturellen Variabilität der Flexibilitätsträger an.

Tabelle 2: Bestands- und Entwicklungsflexibilität¹¹⁰

	Bestandsflexibilität	Entwicklungsflexibilität
Quantitativ	Vermögen, das vorhandene Produktionssystem an aktuelle Änderungen der Menge einer nach Art und Güte bestimmten Leistung anzupassen.	Vermögen, das Produktionssystem um Elemente zu erweitern oder zu reduzieren, um sich an Änderungen der Menge einer nach Art und Güte bestimmten Leistung anzupassen.
Qualitativ	Vermögen, das vorhandene Produktionssystem an Änderungen nach Art und Güte unterschiedlicher Leistungen anzupassen.	Vermögen, das Produktionssystem um Elemente zu erweitern oder zu reduzieren, um sich an Änderungen nach Art und Güte unterschiedlicher Leistungen anzupassen.

Die Unterscheidung in eine qualitative und eine quantitative Dimension der Flexibilität wurde im Rahmen der Definition der Flexibilitätsträger eingeführt, da sie Unterschiede in den Ausprägungen der Flexibilitätsträger beschreibt¹¹¹, und findet sich in der Literatur durchgängig.¹¹²

2.1.4.3 Produktionstechnische Flexibilität

Produktionstechnische Flexibilitätsebegriffe¹¹³ weisen in der Regel einen gemeinsamen Bezugspunkt auf, indem sie ihren Fokus auf Automatisierungsbestrebungen und die Eigenschaften von flexiblen Fertigungsmitteln richten. Betriebsmittel, die in diesem Zusammenhang mit dem Attribut „flexibel“ bezeichnet werden, sind komplexe integrierte Bearbeitungs-, Materialfluss- und Informationssysteme mit hohem Automatisierungsgrad, die in der Lage sind, die prozessbezogenen Funktionen Bearbeiten, Transportieren, Speichern und Übergeben zu integrieren.¹¹⁴ Sie sind mit diesen Eigenschaften in der Lage, sich schnell unterschiedlichen Anforderungen anzupassen. Ein flexibles Produktionssystem beinhaltet mehrere der genannten flexiblen Subsysteme. Diese streng technische Sichtweise wurde in

¹⁰⁷ Vgl. Jacob, H. (1974b), S. 322.

¹⁰⁸ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 67, 68.

¹⁰⁹ Vgl. Corsten, H.; Gössinger, R. (2003), S. 5; Corsten, H. (2000), Abb. 1.1-14 im Anhang.

¹¹⁰ Eigene Darstellung.

¹¹¹ Vgl. Kapitel 2.1.4.1.

¹¹² So beschreibt ZÄPFEL Beispiele unterschiedlicher Anpassungsmechanismen, wobei er jeweils ein Beispiel für qualitative und eines für quantitative Anpassung nutzt. Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 182, S. 270; Kaluza, B. (1989), S. 293.

¹¹³ Die so bezeichneten Flexibilitätsebegriffe sind in Abbildung 6 als Teilflexibilitäten dargestellt.

¹¹⁴ Vgl. Pleschak, F. (1996), Sp. 272.

unterschiedlichen Richtungen um weiterführende produktionstechnische Flexibilitätsbegriffe erweitert.¹¹⁵

KALUZA, der der produktionswissenschaftlichen Diskussion um den Flexibilitätsbegriff über Jahre folgt, stellt neben einen quantitativen und qualitativen Flexibilitätsbegriff die strukturelle Flexibilität.¹¹⁶ Der strukturelle Flexibilitätsbegriff beinhaltet die produktionsstrukturbedingte Flexibilität, die aus den technischen Anordnungsbeziehungen zwischen den einzelnen Fertigungseinrichtungen resultiert und die arbeitsstrukturbedingte Flexibilität, die sich aus der organisatorischen Gestaltung der menschlichen Arbeit ergibt.¹¹⁷ Die produktionsstrukturbedingte Flexibilität ist abhängig von der Durchlauffreizügigkeit, der Fertigungsmittelredundanz und der Speicherfähigkeit des Produktionssystems.¹¹⁸ Die aus der Arbeitsstruktur resultierende Flexibilität erwächst aus bekannten Konzepten der organisationalen Gestaltung menschlicher Arbeit, wie Arbeitsfelderweiterung und -bereicherung, Aufgaben- und Arbeitsplatzwechsel sowie dem Schaffen von Gruppenautonomie. Organisationale Gestaltungskonzepte resultieren aus der gewählten Fertigungsorganisation.

Einen weiteren Flexibilitätsbereich stellt für KALUZA die dispositive Flexibilität dar.¹¹⁹ Gegenstandsbereiche der dispositiven Flexibilität sind die Flexibilitäten der Produktionsplanung und der Produktionssteuerung. KALUZA beschreibt, dass eine steigende Qualität bekannter Methoden der Produktionsplanung und Produktionssteuerung, insbesondere auch die EDV-Unterstützung in Form von CAD, CAP und PPS, sich positiv auf die Flexibilität des Produktionssystems auswirkt.¹²⁰ Der dispositive Faktor unterschiedlicher Verfahren zur Produktionsplanung und -steuerung soll deshalb in dieser Arbeit nicht als eigenständige Flexibilitätsdimension, sondern als Gestaltungsmittel zur Einflussnahme auf die definierten Flexibilitätsarten gesehen werden, da er in der Lage ist, die Gestaltung von Bestands- und Entwicklungsflexibilität zu unterstützen.¹²¹

ZÄPFEL nimmt eine Einteilung produktionswirtschaftlicher Flexibilitätsbegriffe vor, die sich an dem jeweiligen Ziel orientiert, das mit den Anpassungsmaßnahmen verfolgt wird.¹²² Das Ziel kann danach einerseits in neuen quantitativen und qualitativen Anforderungen an das Produktionssystem bestehen, die aus der Nachfrage nach neuen oder geänderten Produkten resultieren. Auf der anderen Seite können sich Anpassungserfordernisse aus Änderungen in der Nachfrage des aktuellen Produktprogramms ergeben. Abbildung 6 gibt einen Überblick über die produktionstechnischen Flexibilitätsbegriffe nach ZÄPFEL.

¹¹⁵ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 268-273; Kaluza, B. (1989); Maier, K. (1982), S. 84-98.; REFA (1990), S. 45-47; Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 71; Corsten, H. (2000), S. 20 und Abb. 1.1-14 im Anhang.

¹¹⁶ Vgl. Kaluza, B. (1989), S. 292, 293.

¹¹⁷ In Kapitel 2.1.4.1 wurden übergeordnete Flexibilitätsträger beschrieben, aus denen sich diese Flexibilitäten ableiten lassen.

¹¹⁸ Vgl. Kaluza, B. (1989), S. 306 f.; Determinanten der Produktionsstrukturbedingten Flexibilität werden im Folgenden vollständig beschrieben.

¹¹⁹ Vgl. Kaluza, B. (1989), S. 316-358; Kaluza, B. (1996), S. 64-70.

¹²⁰ Vgl. Kaluza, B. (1989), S. 316-357.

¹²¹ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 172, der dieser Ansicht folgt. An dieser Stelle wird auf das Merkmal der Mehrstufigkeit der Flexibilität hingewiesen.

¹²² Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 269 ff.

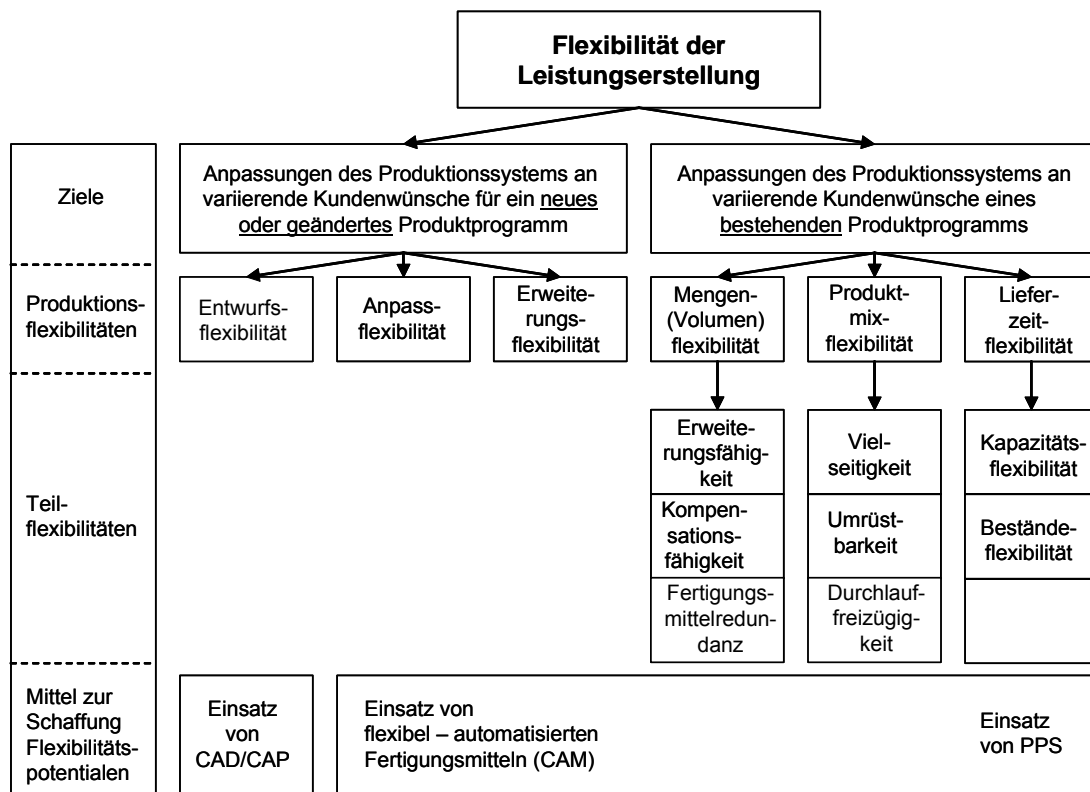


Abbildung 6: Produktionstechnische Flexibilitätsebegriffe¹²³

Durch ein neues oder geändertes Produktprogramm werden Entwurfs-, Anpass- und Erweiterungsflexibilität erforderlich. Die Entwurfsflexibilität findet sich in der von KALUZA definierten dispositiven Flexibilität wieder und beschreibt die Fähigkeit, durch EDV-Einsatz eine schnelle Anpassung an geänderte Kundenwünsche zu erreichen. Die Anpassflexibilität wird definiert als die Fähigkeit, Betriebsmittel mit einem geringen Anteil an Neuinvestitionen weiter verwenden zu können. Die Erweiterungsflexibilität nimmt Bezug auf die Möglichkeit, ein Produktionssystem durch nachträglichen Umbau an neue Erfordernisse anpassen zu können.

Variierende Kundenwünsche innerhalb des bestehenden Produktprogramms können Flexibilitäten in quantitativer, qualitativer und zeitlicher Hinsicht erfordern. Teilbereiche der Mengenflexibilität sind Erweiterungs- und Kompensationsfähigkeit sowie Fertigungsmittelredundanz. Ein Produktionssystem ist erweiterungsfähig, wenn die Nutzungsdauer oder die Nutzungsintensität variiert werden kann. Kompensationsfähigkeit beschreibt die Eigenschaft, quantitative Verschiebungen kurzfristig durch Inbetriebnahme und Stilllegung von Betriebsmitteln oder Personalumschichtungen auffangen zu können. Die Fertigungsmittelredundanz ist definiert als das Vorhandensein von mehr als zur Aufgabenerfüllung erforderlichen Potentialfaktoren, die im Störfall eingesetzt werden können.

Die Produktmixflexibilität spricht eine qualitative Flexibilitätsdimension an und wird determiniert durch die Vielseitigkeit, Umrüstbarkeit und Durchlaufzeitfreizügigkeit des

¹²³ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 269.

Produktionssystems. Die Vielseitigkeit eines Fertigungsmittels steigt mit zunehmender Anzahl an Vorrichtungen, die vorgenommen werden können sowie mit steigendem Variantenspektrum, das bearbeitet werden kann. Die Umrüstbarkeit beschreibt die Fähigkeit, unterschiedliche Arbeitsobjekte durch Rüsten des Fertigungsmittels bearbeiten zu können. Eine hohe Durchlauffreizügigkeit besitzt ein Produktionssystem, wenn Bearbeitungsvorgänge wahlweise auf mehreren Maschinen durchgeführt werden können und das System damit weitestgehend unabhängig von vorgegebenen Arbeitsgangreihenfolgen ist.

Die Lieferzeitflexibilität ist von der Beständeflexibilität und der Kapazitätsflexibilität abhängig. Mit einer zunehmenden Zahl von Zwischenlagern steigt die Speicherfähigkeit eines Produktionssystems und der Vorfertigungsgrad. Die Beständeflexibilität findet sich in der daraus resultierenden Ausgleichsmöglichkeit des Produktionssystems zwischen unterschiedlichen Los- und Auftragsgrößen/-arten sowie Fertigungsgeschwindigkeiten. Möglichkeiten einer kurzfristigen Kapazitätsgestaltung und -nutzung wirken sich positiv auf die Lieferzeit aus.

Die produktionstechnischen Flexibilitätsbegriffe lassen sich in das allgemeine Klassifizierungsschema hinsichtlich der zeitlichen Strukturvariabilität in Form der Bestands- und Entwicklungsflexibilität einordnen.

Tabelle 3: Integration der produktionstechnischen Flexibilitätsbegriffe in die Bestands- und Entwicklungsflexibilität¹²⁴

	Bestandsflexibilität	Entwicklungsflexibilität
Quantitativ	Erweiterungsfähigkeit, Kompensationsfähigkeit, Fertigungsmittelredundanz, Kapazitätsflexibilität, Beständeflexibilität	Anpassflexibilität, Erweiterungsflexibilität
Qualitativ	Vielseitigkeit, Umrüstbarkeit, Durchlauffreizügigkeit, Kapazitätsflexibilität, Beständeflexibilität	Anpassflexibilität, Erweiterungsflexibilität

Allein die Entwurfsflexibilität, die das Produktionssystem selbst nur indirekt berührt und eine Aussage über die Leistung des Planungssystems und die daraus resultierende Zeit für notwendige Anpassungen Auskunft gibt, lässt sich nicht einordnen.¹²⁵ Die Anpassflexibilität beschreibt die Flexibilität der dem Ausführungssystem übergeordneten Ebenen, das Produktionssystem an wechselnde Anforderungen anpassen zu können.

¹²⁴ Eigene Darstellung.

¹²⁵ Es wird auf das in Kapitel 2.1.3.5 besprochene Merkmal der Mehrstufigkeit der Flexibilität verwiesen.

2.2 Flexibilität im Produktionsmanagement

2.2.1 Aufgabenbereiche des Produktionsmanagements

2.2.1.1 *Produktionsmanagement als hierarchisches Führungssystem*

Der Flexibilitätsbegriff findet sich auf allen hierarchischen Ebenen des Unternehmens in allen Unternehmensfunktionen wieder. Die inhaltliche Zuordnung des erarbeiteten Flexibilitätsbegriffs und seiner Merkmale zu den Aufgabenbereichen des Produktionsmanagement erfolgt in zwei Schritten. Zunächst werden die Aufgabenbereiche des Produktionsmanagements auf den unterschiedlichen hierarchischen Ebenen erarbeitet. Damit wird deutlich, auf welchen Ebenen innerhalb des hierarchischen Führungssystems Flexibilitätsanforderungen zu verarbeiten sind.

Innerhalb eines flexibilitätsorientierten Projektionsmodells wird das hierarchische Produktionssystem in einem zweiten Schritt in Beziehung zu weiteren Subsystemen des Unternehmens gesetzt. So wird einerseits die für die Flexibilitätsdiskussion notwendige integrierende Sicht gewählt, welche unterschiedliche Hierarchieebenen und Unternehmensfunktionen einschließt. Andererseits werden die Aufgabenbereiche des Produktionsmanagements und die Merkmale der Flexibilität zusammengeführt.

Zunächst erfolgt einleitend eine Übersicht über das Produktionsmanagement als hierarchisches Führungssystem. Das Produktionsmanagement hat die Aufgabe, „... die Systemzustände für jenen betrieblichen Funktionsbereich zu regeln, der dazu dient, Sachgüter und Dienstleistungen zu erstellen, um menschliche Bedürfnisse zu befriedigen.“¹²⁶ Die Regelung erfolgt dabei in einem rationalen Willensbildungsprozess durch Entscheidungen über Ziele und Mittel.¹²⁷ Das produktionswirtschaftliche Zielsystem ist Grundlage für den Willensbildungsprozess im Produktionsbereich.¹²⁸ Neben monetären Zielen existieren Mengen- und Qualitätsziele, Zeitziele, Flexibilitätsziele, soziale Ziele und Umweltziele. Unterschiedliche Interessengruppen oder einzelne Akteure handeln das Zielsystem in einem multipersonalen Prozess aus.¹²⁹

¹²⁶ Zäpfel, G. (1989a), S. 1.

¹²⁷ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S.1.

¹²⁸ Vgl. Kahle, E. (1996), Sp. 2315-2317; Hahn, D. (1996), Sp. 1525; Hoitsch, H.-J. (1993), S. 26.

¹²⁹ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 5.

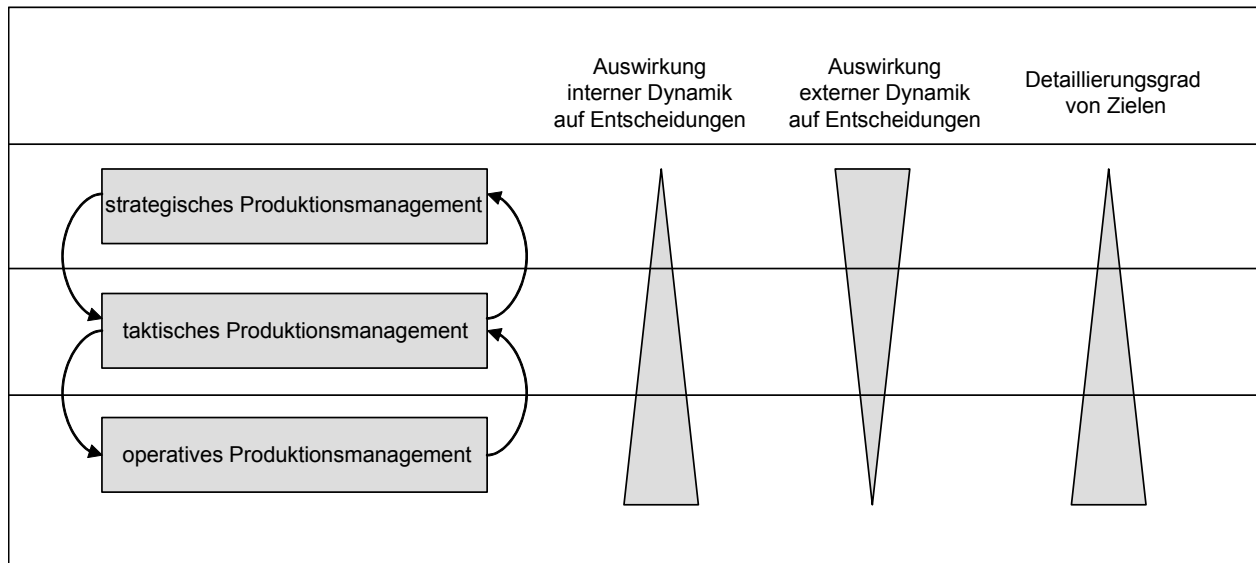


Abbildung 7: Produktionsführungssystem als System vermaschter Regelkreise¹³⁰

Durch die im Führungssystem des Produktionsmanagement getroffenen Grundsatzentscheidungen werden die Systemzustände für die einzelnen betrieblichen Funktionsbereiche definiert und damit langfristig die Rahmenbedingungen für die Produktionsbereitschaft der späteren Produktion festgelegt.¹³¹ Das Führungssystem wird in der Literatur in die Bereiche des strategischen, taktischen und operativen Produktionsmanagements unterteilt.¹³² Es wird durch diese Einteilung in arbeitsteilige Entscheidungsfelder zerlegt, die eine hierarchische Stufung aufweisen.¹³³ Mit zunehmender Hierarchieebene steigt das Aggregationsniveau, mit dem der Produktionsbereich betrachtet wird, so dass auf den einzelnen Hierarchieebenen unterschiedliche Informationsbedürfnisse auftreten, unterschiedliche Entscheidungen zu treffen sind und unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Während im globalen Führungssystem die Entwicklungen der relevanten Systemumwelt und anderer Funktionsbereiche des gesamten Unternehmens berücksichtigt werden, verlangt die Regelung der physischen Produktionsprozesse aktuelle und detaillierte Informationen aus dem Produktionssystem.¹³⁴ Bei Entscheidungen im operativen Bereich sind Auswirkungen einer systemimmanenten internen Dynamik durch kurzfristige Bedarfsverschiebungen oder Ausfälle von Produktionskapazitäten zu berücksichtigen. Externe und interne Dynamik erfordern kurz- und langfristige Anpassungsmaßnahmen. Das Produktionsmanagement hat die Aufgabe, den Produktionsbereich darauf auszulegen, den Anpassungserfordernissen gerecht zu werden. Dazu sind die Hierarchieebenen durch einen Regelprozess miteinander verbunden.¹³⁵

¹³⁰ Eigene Darstellung.

¹³¹ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 1; Corsten, H. (2000), S. 26; Hoitsch, H.-J. (1993), S. 41, 42.

¹³² Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 5, 6; Hoitsch, H.-J. (1993), S. 41 ff.; Corsten, H. (2000), S. 27 ff.

¹³³ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 3.

¹³⁴ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 3.

¹³⁵ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 4.

2.2.1.2 Aufgaben des strategischen Produktionsmanagements

Ziel des strategischen Produktionsmanagement ist die Erhaltung der Überlebensfähigkeit des Unternehmens.¹³⁶ Es steht vor der Aufgabe, eine wettbewerbsfähige Produktion zu schaffen und zu erhalten¹³⁷ und das Unternehmen somit auf einen kapitalwertmaximalen Produktionspfad zu lenken.¹³⁸ Im strategischen Produktionsmanagement wird festgelegt, auf welchen Leistungsfeldern und Märkten das Unternehmen tätig sein wird und welche betrieblichen Ressourcen, wie z.B. Produkte und Technologien, dazu genutzt werden sollen.¹³⁹ Neben der externen Orientierung an den Umweltveränderungen treten dabei zunehmend interne strategische Perspektiven in den Vordergrund, welche die Ressourcenpotentiale des Unternehmens berücksichtigen.¹⁴⁰

Unternehmen sind oft mit unterschiedlichen Produkten auf unterschiedlichen Märkten tätig. Für die einzelnen Produkt-Markt-Kombinationen ergeben sich aus der jeweiligen spezifischen Umweltkonstellation eigene Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken. Produkt-Markt-Kombinationen, für die eine Wettbewerbsposition bestimmt werden kann und für die spezifische Maßnahmen und Strategien entwickelt werden können, werden als strategische Geschäftseinheit (SGE) bezeichnet.¹⁴¹ Unterschiedliche Portfolio-Techniken erlauben eine Positionierung der definierten strategischen Geschäftseinheiten im Vergleich zu Wettbewerbern.¹⁴² Die Portfolios sind Grundlage für die Ableitung der angestrebten Position der SGE's und zur Definition von Strategien, um die angestrebte Position zu erreichen.

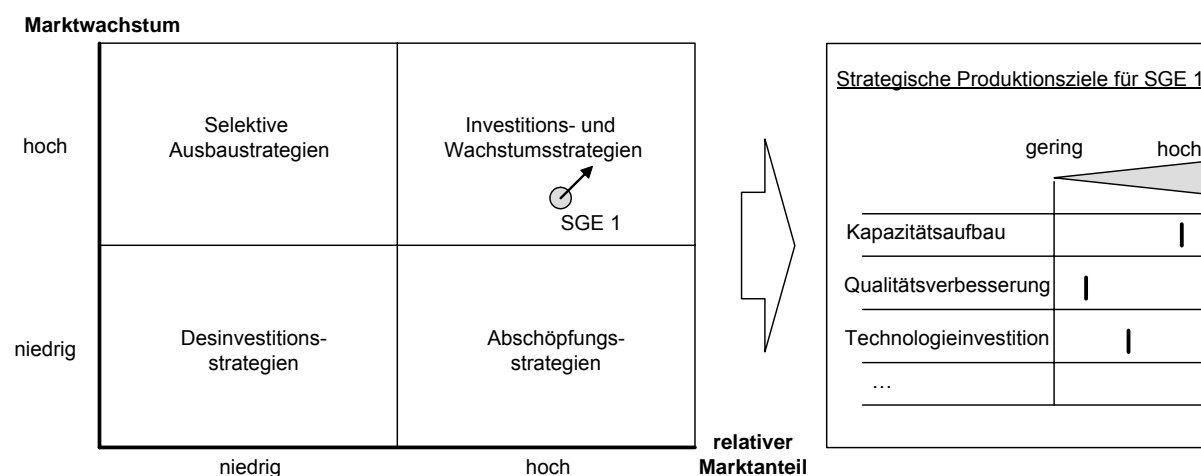


Abbildung 8: Marktwachstum-Marktanteils-Portfolio mit Standardstrategien¹⁴³

¹³⁶ Vgl. Kahle, E. (1996), Sp. 2317; Zäpfel, G. (1989a), S. 10.

¹³⁷ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 2; Hoitsch, H.-J. (1993), S. 41.

¹³⁸ Vgl. Hahn, D. (1996), Sp. 1524.

¹³⁹ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 5.

¹⁴⁰ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 41.

¹⁴¹ Vgl. auch Zäpfel, G. (1989a), S. 32 ff..

¹⁴² Bekannt sind insbesondere das Marktwachstum-Marktanteil-Portfolio der Boston-Consulting-Group und das Marktattraktivitäts-Wettbewerbsvorteil-Portfolio von McKinsey. Kritik an den Marktportfolios wird in der Form laut, dass die den zu berücksichtigen Einflussfaktoren inhärente Dynamik und die Technologie nur unzureichend berücksichtigt werden. [Vgl. Specht, G. (1994), S. 109.] Neben andern Portfolio-Ansätzen, wie Technologieportfolios oder integrierten Portfolio-Ansätzen [Vgl. Specht, G. (1994)] existieren spezifische Methoden für die einzelnen Funktionsbereiche des Unternehmens. So finden etwa im Entwicklungsbereich Roadmapping-Verfahren Anwendung, während beispielsweise im Controlling Methoden der internen Kostenrechnung die Planung unterstützen.

¹⁴³ Eigene Darstellung, in Anlehnung an Zäpfel, G. (1989a), S. 80.

Inhalt der Strategien sind globale Handlungsanweisungen für die einzelnen Funktionsbereiche des Unternehmens, zum Beispiel in Form strategischer Marketingziele und strategischer Produktionsziele. Strategische Produktionsziele im Rahmen einer Investitions- und Wachstumsstrategie können Vorgaben beinhalten, in welchem Ausmaß für eine spezifische strategische Geschäftseinheit Kapazitäten ausgebaut werden, Qualitätsverbesserungen vorgenommen oder Investitionen in neue Technologien erfolgen sollen.

2.2.1.3 Aufgaben des taktischen Produktionsmanagements

Das taktische Produktionsmanagement hat die Aufgabe, die im Rahmen der Strategiefindung beschlossenen Zielstellungen zu konkretisieren und durch Programm- und Ausstattungsentscheidungen in Maßnahmen umzusetzen.¹⁴⁴ Ausgehend von der in der strategischen Planung gewählten Strategie werden auf taktischer Ebene Möglichkeiten der Produktinnovation, der Produktvariation bzw. -differenzierung und der Produktelimination untersucht, um die auf dem jeweiligen Geschäftsfeld verfolgte Strategie zu realisieren.¹⁴⁵ Die dabei zu treffenden Entscheidungen führen zur Definition des zu realisierenden Produktprogramms innerhalb der strategischen Geschäftseinheiten. Die Gestaltung des Produktprogramms als Folge der durch die strategische Ebene kommunizierten dynamischen, externen Faktoren wird in dieser Arbeit als gegeben angenommen.¹⁴⁶

Im Rahmen von Ausstattungsentscheidungen werden die Elemente des Produktionssystems definiert. Zu den Ausstattungsentscheidungen gehören auf der einen Seite der Entwurf von Arbeitsaufgaben und Produktiveinheiten. Andererseits sind die Arbeitsaufgaben den Produktiveinheiten zuzuordnen und arbeitsteilige Produktiveinheiten sind räumlich, mengenmäßig und zeitlich zu koppeln, so dass das Arbeitssystem strukturiert wird.¹⁴⁷ Produktiveinheiten können durch die in Abbildung 9 dargestellten Elemente beschrieben werden.

¹⁴⁴ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 5, 6. Die auch als Produktprogramm- und Potentialplanung bzw. Potentialänderungsplanung bezeichneten Planungsaufgaben werden auch als „strategische Planung im engeren Sinne“ bezeichnet. [Vgl. Hahn, D. (1996), Sp. 1523.] Weil die Aufgabenfelder des strategischen und taktischen Produktionsmanagements aus theoretischer Sicht und in der Praxis durch eine Vielzahl vorhandener Rückkopplungen kaum voneinander zu trennen sind, wird oft auch vom strategisch-taktischen Produktionsmanagement gesprochen. [vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 41, 42; Zäpfel, G. (1989a), S. 13.] An anderer Stelle wird zwischen den Aufgaben der strategischen und taktischen Planung klar getrennt. [Vgl. Jacob, H. (1996)]

¹⁴⁵ Vgl. Jacob, H. (1996), Sp. 1469.

¹⁴⁶ Vgl. hierzu den Ausschluss der Betrachtung von Aktionsobjekten in Kapitel 2.1.4.1.

¹⁴⁷ Vgl. Zäpfel, G. (1989b), S. 91. HOITSCH klassifiziert die Planungsaufgaben in taktische Faktorplanung und taktische Prozessplanung, wobei sich in der Faktorplanung weitestgehend die Elemente des Entwurfes von Arbeitsaufgaben und Produktiveinheiten wieder finden, während in der Prozessplanung Entscheidungen über die Kopplung der Produktiveinheiten zu fällen sind. [Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993)]

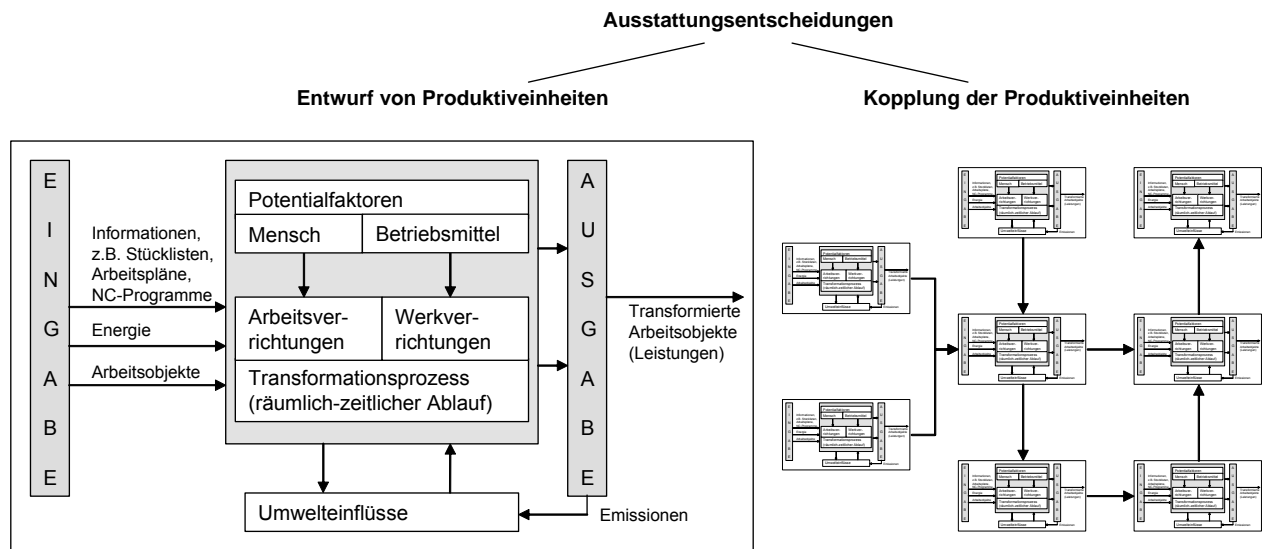


Abbildung 9: Ausstattungentscheidungen auf Ebene des taktischen Produktionsmanagements¹⁴⁸

Aufgabe einer Produktiveinheit ist die Ausführung von Fertigungsprozessen. In eine Produktiveinheit gehen dazu Arbeitsobjekte und Informationen, wie z.B. Stücklisten und Arbeitspläne, ein. Innerhalb einer Produktiveinheit werden durch die Bereitstellung der Potentialfaktoren Mensch und Betriebsmittel Verrichtungen ausgeführt, um einen Transformationsprozess zu gewährleisten. Durch die Transformation werden die Arbeitsobjekte verändert. Jeder Transformationsprozess zielt grundsätzlich darauf ab, eine Wertsteigerung am Arbeitsobjekt zu vollziehen. Die Produktiveinheiten sind entsprechend der unternehmensinternen Organisation hierarchisch angeordnet.¹⁴⁹ So kann eine Produktiveinheit auf unterster Ebene ein Arbeitsplatz sein. Eine Vielzahl von Arbeitsplätzen kann einer Kostenstelle zugeordnet sein, welche z.B. die Fertigungsaufgabe besitzt, ein bestimmtes Einzelteil mechanisch zu fertigen. Mehrere Kostenstellen können zu einer Produktiveinheit in Form eines Bereiches, wie z.B. der mechanischen Fertigung, zusammengefasst sein. Die einstufige Sicht auf das Produktionssystem, die dem systemtheoretischen Konzept einer Black-box entspricht, wird damit durch eine rekursive Sicht ersetzt, innerhalb derer Produktionssysteme stets Subsysteme eines Produktionssystems höherer Ordnung sind.¹⁵⁰ Beim Entwurf der Produktiveinheiten wird das Technikkonzept, welches den Automatisierungsgrad charakterisiert, ausgewählt, das quantitative Leistungsvermögen der Produktiveinheiten wird festgelegt und die Fertigungstiefe sowie die Produktionsstandorte werden definiert.¹⁵¹

Im Rahmen der Produktionsstrukturierung werden die Arbeitsaufgaben den Produktiveinheiten quantitativ sowie qualitativ zugeordnet und die Produktiveinheiten werden verbunden. Diese Zuordnung und die räumliche Anordnung der Produktiveinheiten lässt eine Klassifikation von drei unterschiedlichen Organisationstypen der Produktion zu.¹⁵² Bei einer Organisation der Produktiveinheiten nach dem Verrichtungsprinzip werden Produktiveinheiten, welche gleichartige Verrichtungen durchführen, räumlich zusammengefasst. Bei dem Flussprinzip werden die Produktiveinheiten entsprechend ihres Arbeitsablaufes angeordnet. Das

¹⁴⁸ In Anlehnung an Zäpfel (1989b), S. 97.

¹⁴⁹ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 460.

¹⁵⁰ Vgl. Schiemenz, B. (2002), S. 181.

¹⁵¹ Vgl. Zäpfel, G. (1989b), S. 90-145.

¹⁵² Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 15, 16; Zäpfel, G. (1989b), S. 158-164.

Gruppenprinzip soll die Vorteile von Verrichtungs- und Flussprinzip miteinander verbinden und einerseits eine gute Anpassungsfähigkeit des Produktionssystems an wechselnde Arbeitsaufgaben sicherstellen und andererseits eine fließende Materialbewegung ermöglichen. Durch die Produktionsstrukturierung und die Kopplung der Produktiveinheiten untereinander wird ein System entworfen, welches ein definiertes Verhalten über die Zeit aufzeigt. Ziel der Systemgestaltung ist die Erzeugung eines Verhaltens, welches den Produktionsbereich in die Lage versetzt, den durch die strategische Ebene vorgegebenen Zielvorstellungen gerecht zu werden. Die Folgen der Auswirkungen von Umweltänderungen auf das Produktionssystem sind für den Praktiker ständige Herausforderung. Die bekannte Trennung in die unternehmensinternen Funktionen Produktionssystemplanung und Produktionssteuerung weicht dabei immer mehr auf.¹⁵³ Durch die Entscheidungen des taktischen Produktionsmanagement werden die Rahmenbedingungen für das operative Produktionsmanagement vorgegeben, indem das Produktprogramm definiert sowie Art und Menge der zur Verfügung stehenden Potentialfaktoren festgelegt werden.¹⁵⁴

2.2.1.4 Aufgaben des operativen Produktionsmanagements

Dem operativen Produktionsmanagement obliegt die Aufgabe, der Planung des Output in Form der Produktionsprogrammplanung, der Inputplanung in Form der Produktionsfaktorplanung und der Throughputplanung in Form der Auftragsveranlassung, -durchsetzung und -kontrolle.

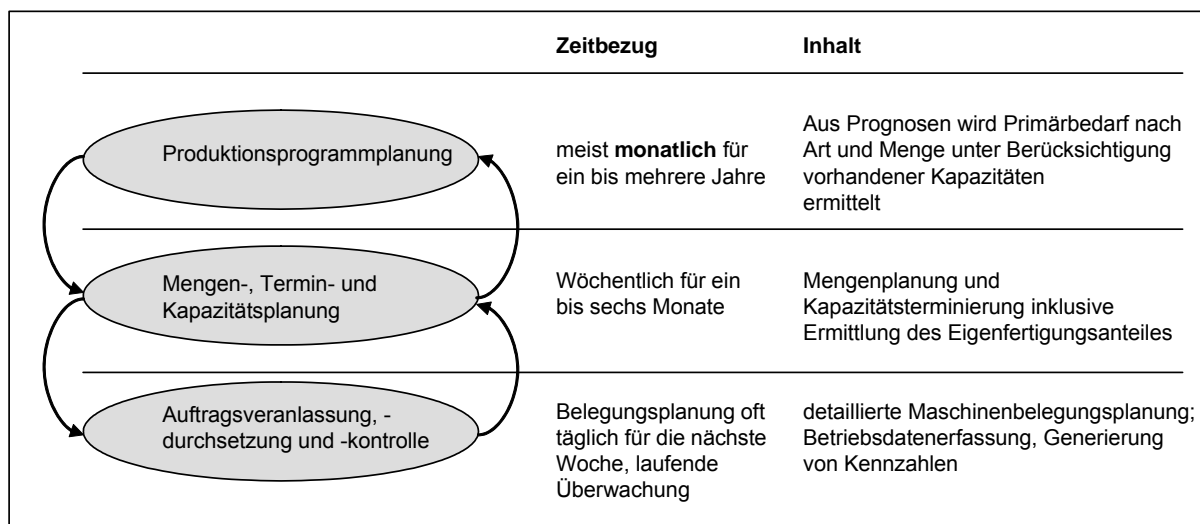


Abbildung 10: Aufgabenbereiche des operativen Produktionsmanagements¹⁵⁵

Der durch das taktische Produktionsmanagement nach Menge, Art und Güte der Leistungen definierte Bedarf ist Ausgangspunkt der Produktionsprogrammplanung. Bei der

¹⁵³ Vgl. Westkämper, E.; Wiendahl, H.-H.; Pritschkow, G.; Rempp, B.; Schanz, M. (2000), S. 204.

¹⁵⁴ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 275, 354; ZÄPFEL spricht von Programmmentscheidungen als Aktionsparameter des taktischen Produktionsmanagements, welches die Leistungsfelder und Ressourcen für das operative Produktionsmanagement festlegt. [Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 5, 6.]

¹⁵⁵ In Anlehnung an Wiendahl, H.-P. (1997), S. 13-16.

Produktionsprogrammplanung wird angenommen, dass Produktions- und Absatzprogramm vollständig übereinstimmen. Neben dem Absatzbereich müssen auch Rahmenbedingungen aus dem Produktions-, Beschaffungs-, Personal- und Finanzbereich sowie externe Bedingungen, wie gesetzliche Regelungen, berücksichtigt werden.¹⁵⁶ Mit der Programmplanung wird festgelegt, wie die vorhandenen Potentiale optimal genutzt werden können.

Der aus der Programmplanung resultierende Primärbedarf wird in der Mengenplanung entsprechend des Erzeugnisaufbaus in einzelne Komponenten zerlegt, wobei für die Eigenfertigungsanteile unter Berücksichtigung von Lagerbeständen Losgrößenberechnungen durchgeführt werden. In der Produktionsfaktorplanung wird die mengen- und termingerechte Bereitstellung der Produktionsfaktoren geplant.

In der sich anschließenden Termin- und Kapazitätsplanung werden unter Bezugnahme auf verfügbare Kapazitäten Start- und Endtermine für die einzelnen Arbeitsvorgänge bestimmt. Machen sich im Rahmen dieser kurzfristigen Planung Kapazitätsengpässe bemerkbar, können diese in der Regel nicht beseitigt werden. Eine mögliche Folge ist die Überschreitung vereinbarter Liefertermine. Im Gegensatz zu den anderen Elementen des operativen Produktionsmanagement wird die Kapazitätsterminierung in der betrieblichen Praxis kaum durchgeführt, weil die erzeugten Pläne oft innerhalb weniger Stunden überholt sind und geeignete Verfahren fehlen, diese kurzfristigen Verschiebungen zu berücksichtigen.¹⁵⁷ Mit der Auftragsfreigabe, welche das Vorhandensein der notwendigen Voraussetzungen zur Bearbeitung der Aufträge im Produktionsbereich prüft, findet der Übergang zur Produktionssteuerung statt. Im Rahmen der Produktionssteuerung werden die Produktionsaufträge kurzfristig detailliert den einzelnen Produktiveneinheiten zugeordnet und die Produktion wird veranlasst. Die Produktionssystemsteuerung ist damit die Schnittstelle zwischen den planenden und ausführenden Unternehmenseinheiten.¹⁵⁸ Durch eine ständige Kapazitäts- und Auftragsüberwachung mit Hilfe der Betriebsdatenerfassung soll die Produktionssteuerung einen störungsfreien Produktionsablauf entsprechend der Vorgaben sicherstellen. Die klassische Produktionsplanung und -steuerung wird realiter komplett oder zu Teilen durch EDV unterstützt.¹⁵⁹

Die drei Teilbereiche des operativen Produktionsmanagements werden in der betrieblichen Praxis aufgrund der Vielzahl vorhandener Interdependenzen integriert. Auf der einen Seite existieren Simultanansätze, welche die Planungsaufgaben als gemischt-ganzzahlige Optimierungsaufgaben formulieren und welche kaum praktische Relevanz besitzen, weil sie unzureichende Möglichkeiten der Einordnung in vorhandene organisatorische Strukturen bieten und die unterschiedlichen Planungshorizonte der einzelnen hierarchischen Ebenen nicht berücksichtigen.¹⁶⁰ Andererseits existieren sukzessive Ansätze, zu denen die in der Industrie eingesetzten EDV-gestützten Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme (PPS-Systeme)

¹⁵⁶ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 275.

¹⁵⁷ Vgl. Wiendahl, H.-P. (1997), S. 8, 9; Vgl. Stadler, H. (1996), Sp. 638, 639; Hoitsch, H.-J. (1993), S. 466–468.

¹⁵⁸ Vgl. Pritschow, G.; Duelen, G.; Bender, K. (1999), S. 10–89.

¹⁵⁹ Die PPS ist dabei Teil des weitere technische Funktionen umfassenden Computer Integrated Manufacturing. [Vgl. Corsten, H. (2000), S. 573.]

¹⁶⁰ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 557, 563.

zählen.¹⁶¹ Sukzessive Ansätze sind hierarchisch aufgebaut, so dass die Lösung der komplexen, interdisziplinären Planungsaufgabe der übergeordneten Ebenen die Rahmenbedingungen für die untergeordneten Ebenen setzt.¹⁶²

Ein prominentes Modell eines sukzessiven Planungsansatzes ist das Modell einer Kapazitätsorientierten Produktionsplanung und -steuerung (KPPS).¹⁶³ Innerhalb dieses Ansatzes soll durch eine segmentspezifische Feinplanung insbesondere die Zuverlässigkeit der Kapazitätsterminierung erhöht werden.

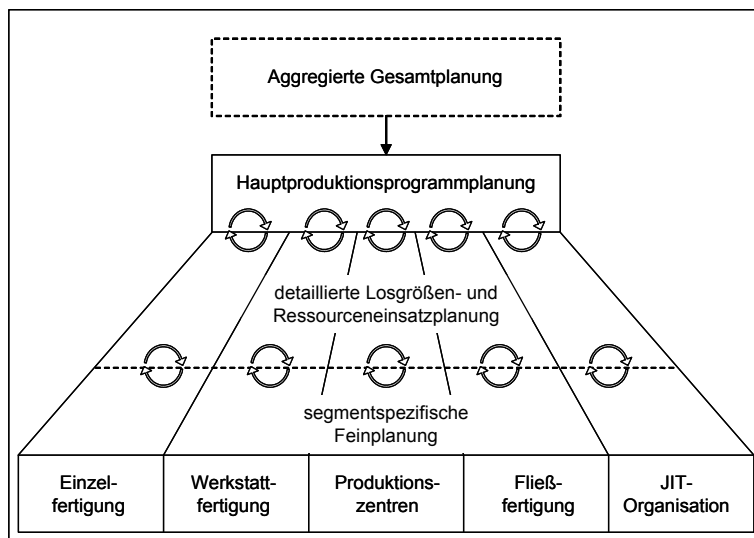


Abbildung 11: Aufbau und Planungsebenen eines kapazitätsorientierten PPS-Systems¹⁶⁴

Aufgabe der aggregierten Gesamtplanung ist die Festlegung des Produktionsprogramms nach Art und Menge für die einzelnen Produktionsstätten. Die Definition des Produktprogramms erfolgt funktionsübergreifend unter Integration von Unternehmensfunktionen wie Personal- und Finanzwesen, Beschaffung und Vertrieb. Die aggregierte Gesamtplanung bildet so die Schnittstelle zu anderen Unternehmensfunktionen. Die Planungsaufgabe wird auf dieser Ebene zunächst oft mit einem Simulationsmodell als Ganzes gelöst bevor für die einzelnen Bereiche die Hauptprogrammplanung erfolgt. Bei dieser Planung werden die durch die aggregierte Gesamtplanung erfolgten Restriktionen, wie Obergrenzen für die Inanspruchnahme von Zusatzschichten oder Vorgaben bezüglich des Aufbaus von saisonalen Lagerbeständen, berücksichtigt.¹⁶⁵ Die Hauptproduktionsprogrammplanung läuft in Abhängigkeit der Verfügbarkeit der Produkte und der Durchlaufzeit für einen Planungszeitraum von drei bis zwölf Monaten, wobei Hauptprodukte als Planungsgegenstand genutzt werden.¹⁶⁶ Das Produktionssystem ist in Fertigungssegmente eingeteilt, die unterschiedlichen Fertigungsorganisationstypen zugehörig sein können. Fertigungssegmente betreiben ihre Feinplanung autonom. Dabei kommen an die spezifischen Erfordernisse angepasste

¹⁶¹ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 560. Im amerikanischen Schriftentum werden diese Systeme unter dem Stichwort MRP (Material Requirements Planning) oder MRPII (Manufacturing Resource Planning) diskutiert. [Vgl. Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2003), S. 301.]

¹⁶² Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 560-

¹⁶³ Vgl. Drexl, A.; Fleischmann, B.; Günther, H.-O. et al. (1994).

¹⁶⁴ Drexl, A.; Fleischmann, B.; Günther, H.-O. et al. (1994).

¹⁶⁵ Vgl. Stadtler, H. (1998), S. 8.

¹⁶⁶ Vgl. Stadtler, H. (1998), S. 8.

Lösungsverfahren und –modelle zum Einsatz.¹⁶⁷ Generell werden die Primärbedarfe bei gleichzeitiger Losgrößenbildung in Sekundärbedarfe aufgelöst. Unter Beachtung vorhandener Kapazitäten erfolgt dann die Reihenfolge- und Ressourcenbelegungsplanung.¹⁶⁸ Die Fertigungssegmente werden durch Vorgabe von Eckterminen voneinander abgegrenzt.

2.2.2 Flexibilitätsorientiertes Projektionsmodell des Produktionsmanagements

2.2.2.1 Hierarchische und horizontale Integration

Das Produktionssystem steht als Teilsystem des Unternehmens mit anderen Subsystemen, wie Personal-, Beschaffungs-, Finanzierungs- und Absatzsystem in unmittelbarem Informationsaustausch.¹⁶⁹ Es bestehen keine direkten Beziehungen zwischen dem Produktionssystem und der Unternehmensumwelt. Die spezialisierten Subsysteme, wie beispielsweise der Beschaffungs- und Absatzbereich, nehmen für das Produktionsmanagement eine Filterfunktion wahr, indem sie Umwelteinflüsse aus der jeweiligen Fachdisziplin bewerten und gezielte Gestaltungsempfehlungen aussprechen.¹⁷⁰ Damit werden an die den Produktionsbereich umgebenden Bereiche Flexibilitätsanforderungen in der Form Beschaffungs-, Absatz-, Finanz- und Personalwirtschaftlicher Flexibilität gestellt.¹⁷¹ Vor diesem Hintergrund obliegt es beispielsweise der Entwicklungsabteilung, Entwicklungen der Fertigungstechnologie zu verfolgen und den Produktionsprozess technologisch konkurrenzfähig zu gestalten. Der Beschaffungsseite kommt unter anderem die Aufgabe zu, die Mark tunabhängigkeit durch standardisierte, genormte Teile zu erhöhen, während die Flexibilität gegenüber Kundenwünschen auf dem Absatzmarkt durch den Einsatz von Baukastensystemen erhöht werden kann.¹⁷²

Die Subsysteme sind bezüglich ihrer Art und Einflussmöglichkeit auf das Produktionssystem unternehmensindividuell ausgestaltet. Beispielsweise sind Unternehmen insbesondere in Branchen wie der Automobilindustrie und der Energiewirtschaft aufgrund ihres homogenen Produktprogramms funktional organisiert. Jedes Subsystem übernimmt in diesem Fall eine unternehmensinterne Funktion, wie beispielsweise Beschaffung, Produktion oder Marketing. Die Funktionsbereiche in diesen Unternehmen sind aufgrund interner Leistungsverflechtungen interdependent.¹⁷³ Im Gegensatz zu weiteren Organisationsformen, wie beispielsweise der Matrixorganisation, bestehen jedoch bei der klassischen Funktionalorganisation bei Entscheidungen über die Bereitstellung von Ressourcen sowie bezüglich der Marktbearbeitung nur geringe Abhängigkeiten zwischen den Unternehmensfunktionen. Entscheidungen über den Umgang mit relevanten Umweltveränderungen werden innerhalb der einzelnen spezialisierten Unternehmensfunktionen getroffen. Unterschiedliche Unternehmensfunktionen können für eine

¹⁶⁷ Beispiele für häufig eingesetzte Operation-Research-Modelle sind die Warteschlangentheorie, die Travelling-Salesman-Methode sowie lineare gemischt-ganzzahlige und dynamische Programmierung. [Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 563.]

¹⁶⁸ Vgl. Corsten, H. (2000), S. 514-516.

¹⁶⁹ Vgl. Corsten, H. (2000), S. 3; Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 72.

¹⁷⁰ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 175.

¹⁷¹ Vgl. Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 69.

¹⁷² Vgl. Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 72.

¹⁷³ Vgl. Freese, E. (1999), S. 3-18.

bestimmte Branche eine Schlüsselposition besitzen. So wurden in den letzten Jahren beispielsweise für Computerhersteller und Buchversandunternehmen ausgefeilte Logistikkonzepte zum Erfolgsfaktor. Diese dominierenden Unternehmensfunktionen geben in diesem Fall für andere Subsysteme des Unternehmens die Rahmendaten vor.¹⁷⁴ Unabhängig von der vorliegenden Organisationsform werden vorhandene Abhängigkeiten und Überschneidungen bei Planungsaufgaben durch die Bildung von Ausschüssen, welche vorhandene Schnittstellen koordinieren, berücksichtigt.¹⁷⁵

Die interdisziplinären Planungs- und Entscheidungsaufgaben erfolgen auf mehreren hierarchischen Ebenen. Die hierarchische Abstufung erfolgt in Anlehnung an das Merkmal der Mehrstufigkeit der Flexibilität. Handlungsspielräume für Flexibilitätsentscheidungen auf unterer Führungsebene sind danach Handlungsalternativen in einem Handlungsspielraum auf übergeordneter Ebene.¹⁷⁶

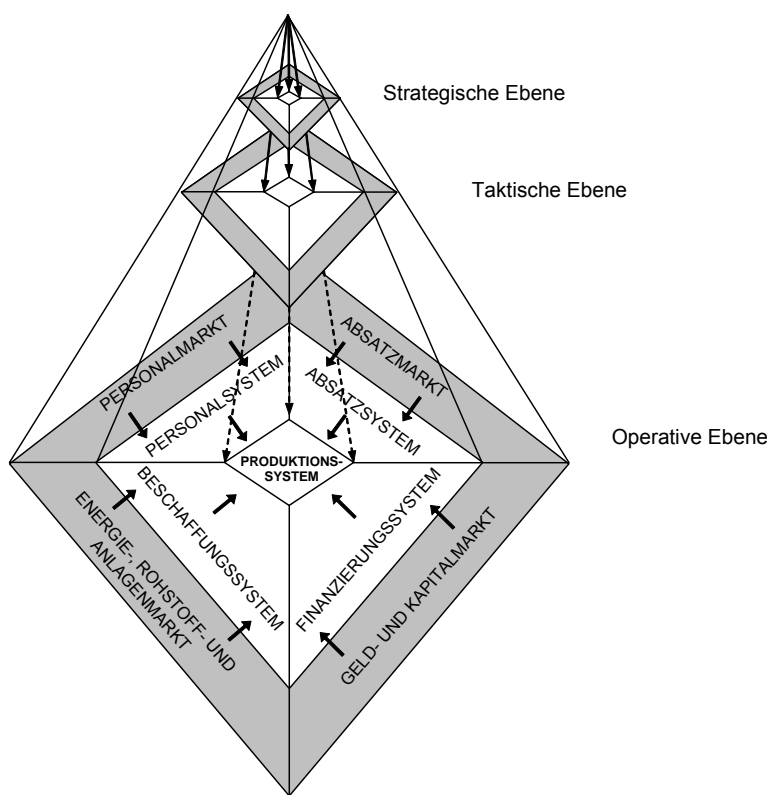


Abbildung 12: Das flexibilitätsorientierte Projektionsmodell des Produktionsmanagements¹⁷⁷

Das flexibilitätsorientierte Projektionsmodell betont einerseits die Interdependenzen zwischen den einzelnen Funktionsbereichen und systemexternen Veränderungen, so dass eine isolierte Betrachtung des produktionswirtschaftlichen Teilbereichs zugunsten einer ganzheitlichen Betrachtungsweise vermieden wird.¹⁷⁸ Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte der

¹⁷⁴ Vgl. Freese, E. (1999), S. 3-18.

¹⁷⁵ Vgl. Freese, E. (1999), S. 3-18.

¹⁷⁶ Vgl. hierzu Kapitel 2.1.3.5. Vgl. zur Unterscheidung zwischen operativer, taktischer und strategischer Ebene der Flexibilitätsbetrachtung auch HILLMER. [Hillmer, H.-J. (1987), S. 137-141.]

¹⁷⁷ Behrbohm, P. (1985), S. 180.

¹⁷⁸ Auch bei der Untersuchung alternativer innovativer Herausforderungen an den Produktionsbereich, wie beispielsweise Anlaufsituationen, erfolgt eine integrative Betrachtung des Produktionsbereichs. [Vgl. Specht, D.; Nagel, J.; Frischke, S. (2004).]

Flexibilitätsdiskussion werden dadurch integriert betrachtet. Auf der anderen Seite wird betont, dass nicht nur operative Prozessentscheidungen auf unteren Führungsebenen, wie z.B. Variationen des Beschäftigungsgrades, sondern auch mittel- und langfristige Entscheidungen Gegenstand einer Flexibilitätsdiskussion sein müssen.¹⁷⁹

2.2.2.2 Planungsentscheidungen im Projektionsmodell

In Anlehnung an die Mehrstufigkeit der Flexibilität lassen sich die definierten Flexibilitätsebegriffe dem hierarchisch-strukturellen Aufbau des Planungs- und Steuerungssystems des Produktionsmanagements zuordnen. Auf allen hierarchischen Ebenen finden sich Flexibilitätstreiber, welche über andere betriebliche Funktionsbereiche auf den Produktionsbereich wirken. Die Subsysteme geben die jeweiligen Anforderungen an das Produktionssystem weiter, wie bei der Vorstellung des flexibilitätsorientierten Projektionsmodells gezeigt wurde. Das Produktionsmanagement verfügt auf allen Planungsebenen über Flexibilitätspotential, das auftretender Dynamik gegenübergestellt werden kann. Tabelle 4 zeigt Beispiele für auftretende Dynamik und Handlungsspielräume. Die Handlungsspielräume sind Ergebnis der jeweiligen Planungsentscheidungen.

¹⁷⁹ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 180.

Tabelle 4: Mehrstufigkeit der Planungsentscheidungen im Projektionsmodell

Beispiele für Ebenen	Dynamik bei Planungsentscheidungen	Beispiele für Handlungsspielräume	Planungsziel
Strategisch	Differenziertere Bedürfnisse des Kunden bezüglich Menge, Art und Güte der nachgefragten Leistungen; neue Technologien für Investitionsgüter auf dem Beschaffungsmarkt; Marktstrategien der Wettbewerber; Substitutionsprodukte; Wechselkursschwankungen	<p>Aufgabe: Entscheidung über die Integration einer bestimmten Technologie in einer strategischen Geschäftseinheit; Handlungsspielraum: Kapazitätsanpassung aufgrund der neuen Technologie</p> <p>Kapazitätsabbau, Kapazitätserhaltung, Kapazitätsaufbau</p>	
Taktisch	Verfügbarkeit qualifizierter Facharbeiter; Zeitverzögerungen bei Auf- und Abbau von Potentialfaktoren; häufige Produktwechsel erfordern entsprechende Investitionsgüter; erstmalige, schwer beherrschbare Anlaufprozesse	<p>Aufgabe: Planung von Personal und Betriebsmitteln sowie deren Zuordnung Handlungsspielraum: Anzahl, Leistungsvermögen von Betriebsmitteln, Personalszuordnung</p> <p>Einschränken von Freiheitsgraden, Sicherstellung der Zielerreichung</p>	
Operativ	Kurzfristige Versorgungsengpässe, Nachfrageschwankungen mit der Folge ungeplanter Programmänderungen	<p>Aufgabe: Operative Personaleinsatzplanung unter Berücksichtigung des aktuellen Tarifvertrages Handlungsspielraum: Personalbesetzung</p> <p>Besetzung der Produktivität mit 3 Mitarbeitern in Schicht 2</p>	
Ausführungssystem	Personalausfall, ungeplante Anlagenstillstände beispielsweise aufgrund technischer Havarien	Durchführung des physischen Leistungserstellungsprozesses	




In der strategischen Produktionsplanung und -steuerung werden unter Berücksichtigung der Interaktion mit dem Markt Ziele für das Leistungserstellungssystem festgelegt und Rahmenbedingungen für einzelne strategische Geschäftseinheiten definiert. Inhalt eines Handlungsspielraumes kann beispielsweise die Entscheidung über die Änderung der Kapazität von Betriebsmitteln mit einer bestimmten Technologie sein. An diesem Beispiel soll im Folgenden das Herunterbrechen von Handlungsspielräumen über die einzelnen hierarchischen Ebenen gezeigt werden.

Dem strategischen Management stehen ohne Berücksichtigung der Dynamik des Marktes und eigener Ressourcen zunächst unbegrenzte Freiheitsgrade bei der Definition der zu installierenden Kapazität zur Verfügung. Durch die Vielzahl an Wirkungsbeziehungen zum Markt sowie durch die begrenzten eigenen Ressourcen wird der Handlungsspielraum eingeschränkt. Auf Grundlage der für die einzelnen strategischen Geschäftseinheiten verfolgten Strategien können spezifische Handlungsspielräume und Zielvorgaben, beispielsweise für eine adäquate Kapazitätsstrategie, an die taktische Ebene weitergegeben werden.

Die in der strategischen Entscheidungsfindung gewählte Handlungsalternative des Kapazitätsaufbaus stellt die Grundlage für die Produktionsplanung und -steuerung auf taktischer Ebene dar. Die durch die strategische Ebene gewählte Handlungsalternative spannt auf der untergeordneten taktischen Entscheidungsebene mehrere Handlungsspielräume auf. So können unterschiedliche quantitative und qualitative Ausprägungen von Aktionssubjekten und Aktionsmitteln sowie deren Zuordnung definiert werden. Ein Beispiel für eine Handlungsalternative der taktischen Ebene ist die in Abbildung 13 dargestellte alternative Zuordnung von Aktionssubjekten zu Aktionsmitteln bzw. Personal zu Betriebsmitteln.¹⁸⁰

Anzahl Mitarbeiter von nach	1	2	3	4	5
1	x	x	x	x	x
2	x	x	1	4	4
3	x	2	x	4	4
4	x	2	2	x	4
5	x	2	2	2	x

 Zeit für den Wechsel
der Personalbesetzung
in Wochen

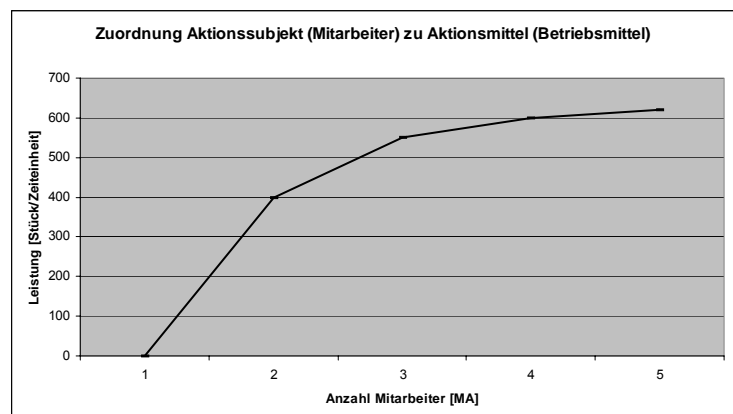


Abbildung 13: Beispiel für eine Handlungsalternative auf taktischer Ebene¹⁸¹

¹⁸⁰ In dieser Zuordnung konstituiert sich unter anderem, wie in Kapitel 2.2.1.3 vorgestellt, die Bildung von Produktiveinheiten als Teilaufgabe des taktischen Produktionsmanagements.

¹⁸¹ Eigene Darstellung.

Der Handlungsspielraum trifft eine Aussage über mögliche Alternativen der Zuordnung von Mitarbeitern zu einer Produktiveinheit oder einem Bereich. Im rechten Teil der Abbildung ist die Auswirkung der Mitarbeiterbesetzung auf die Leistungsfähigkeit des Betriebsmittels dargestellt. Die Ausbringungsmenge steigt bei steigender Mitarbeiterzahl mit abnehmendem Grenznutzen. Aus der Matrix des Handlungsspielraumes geht die Handlungszeit hervor, die notwendig ist, um die Personalbesetzung zu verändern. Hier wurde angenommen, dass die Reaktionszeit für einen Wechsel zwischen einer Besetzung mit bis zu drei Mitarbeitern innerhalb der wöchentlichen Planung veranlasst werden kann. Eine darüber hinausgehende Besetzung erfordert die Einstellung von Zeitarbeitern. Im Beispiel wird angenommen dass dies eine Reaktionszeit von vier Wochen erfordert. Eine Reduktion der Anzahl der Mitarbeiter erfordert dagegen, unabhängig von der aktuellen Besetzung des Betriebsmittels, jeweils eine zweiwöchige Handlungszeit.

Neben der dargestellten Handlungsalternative können im taktischen Produktionsmanagement weitere Alternativen der Dimensionierung und Anordnung von Produktiveinheiten stehen. Diese können jeweils der Bestands- und Entwicklungsflexibilität zugeordnet werden. Eine Handlungsalternative im Rahmen der qualitativen Entwicklungsflexibilität würde darin bestehen, eine Anlage mit einem höheren Automatisierungsgrad zu installieren, die einen geringeren Mitarbeiterbedarf aufweist. Die parallele Installation mehrerer Produktiveinheiten mit halbem Leistungsvolumen wäre eine Handlungsalternative innerhalb der quantitativen Entwicklungsflexibilität.

Durch die Entscheidungen über den strukturellen Aufbau des Produktionssystems im Rahmen der strategischen und taktischen Planung werden die Rahmenbedingungen für den operativen Produktionsbetrieb definiert.¹⁸² Im Rahmen der operativen Produktionsplanung und –steuerung werden Entscheidungen über den optimalen Einsatz des vorhandenen Produktionssystems getroffen. Die in Abbildung 13 dargestellte Handlungsalternative auf taktischer Ebene ist Beispiel für einen Handlungsspielraum auf operativer Ebene. Die dem Handlungsspielraum impliziten Handlungsalternativen und Handlungszeiten kennzeichnen das Flexibilitätspotential der operativen Ebene bezüglich der Zuordnung von Betriebsmitteln und Personal.

Das Ausführungssystem verfügt über keine Handlungsspielräume mehr. Es bedient die ausgewählte Handlungsalternative. Durch den physischen Leistungserstellungsprozess wird Dynamik erzeugt. Diese Dynamik stellt Flexibilitätsanforderungen an den übergeordneten operativen Planungsbereich. So führen Personalausfälle und ungeplante Anlagenstillstände zu Abweichungen und lösen Anpassungsbedarf aus. In Abhängigkeit von der aktuellen Dynamik innerhalb des Ausführungssystems wird auf der operativen Ebene eine Handlungsalternative ausgewählt und dem Ausführungssystem übergeben. Diese kann, obigem Beispiel folgend, darin bestehen, das betrachtete Betriebsmittel mit drei Mitarbeitern zu besetzen, um ein definiertes Produktionsprogramm zu fertigen. Die Produktiveinheit würde damit auf eine Leistung von 600 [Stück/Zeiteinheit] ausgelegt.

¹⁸² Vgl. beispielsweise Zäpfel, G. (1996), Sp. 1292, 1293; Stadtler, H. (1996), Sp. 631.

3 Ansätze zur Gestaltung von Flexibilität

3.1 Flexibilitätsgestaltung als Managementprozess

3.1.1 Zyklus des Flexibilitätsmanagement

Flexibilitätsmanagement beinhaltet die zielorientierte Gestaltung und Nutzung der Flexibilitätpotentiale eines Unternehmens.¹⁸³ Dazu müssen auf den einzelnen Hierarchieebenen Entscheidungsprozesse durchgeführt werden, um für das Unternehmen ein Erreichen der angestrebten Ziele sicherzustellen. Der Entscheidungsprozess ist ein zielsuchender Kontrollprozess, der Entscheidungen solange systeminduziert auslöst, bis die Differenz zwischen angestrebtem und erreichtem Ziel verschwindet.¹⁸⁴ Aus Sicht der Systemtheorie gründen sich Entscheidungen auf Spannungen zwischen einem vorhandenen und einem angestrebten Systemzustand.

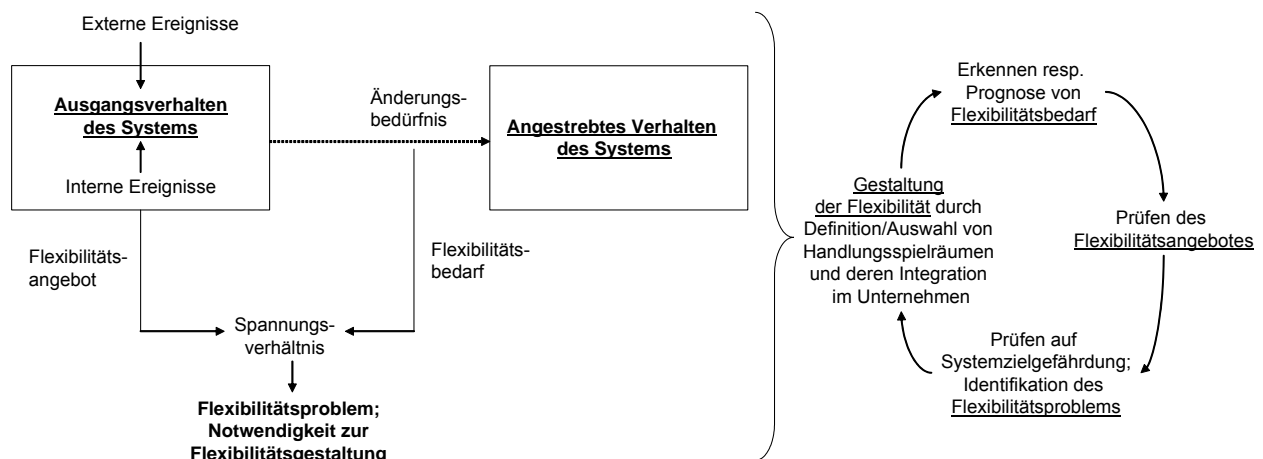


Abbildung 14: Zyklus des Flexibilitätsmanagement¹⁸⁵

Externe und interne Ereignisse wirken auf das System und bedingen ein bestimmtes Systemverhalten. Die Reaktion des Systems auf die Störgrößen kennzeichnet die vorhandene Flexibilität des Systems, das so genannte Flexibilitätsangebot. Wenn sich mit diesem Ausgangsverhalten die angestrebten Systemziele nicht mehr erreichen lassen, wird ein Anpassungsbedürfnis hervorgerufen. Die notwendigen Änderungen des Systems, um das

¹⁸³ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 41.

¹⁸⁴ Vgl. Zahn, E. (1971), S. 80.

¹⁸⁵ Vgl. Maier, K. (1982), S. 178.

erwünschte Systemverhalten zu erzeugen, charakterisieren den Flexibilitätsbedarf.¹⁸⁶ Durch die Vielzahl an Flexibilitätsmerkmalen ergeben sich Herausforderungen bei der Messung des Bedarfes und des Angebotes an Flexibilität sowie bei der Ableitung von Maßzahlen.¹⁸⁷ Da sich das System und die Systemziele dynamisch entwickeln, kommt es nur temporär dazu, dass sich das Spannungsverhältnis zwischen Flexibilitätsbedarf und -angebot löst.¹⁸⁸ Das Flexibilitätsmanagement ist somit ein fortlaufender Analyse- und Kontrollprozess.

Grundlage von Flexibilitätsbetrachtungen sind die Teilbereiche des Realsystems, die Flexibilitätsprobleme aufzeigen. Flexibilitätsprobleme entstehen, wenn interne oder externe Ereignisse so auf die betrieblichen Leistungsprozesse einwirken, dass deren Ergebnisse, gemessen an den Zielsetzungen, als unbefriedigend empfunden werden.¹⁸⁹ Flexibilitätsprobleme entstehen auf diese Weise durch ungelöste Spannungsverhältnisse zwischen Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot. Eine erforderliche Veränderung des Systemverhaltens vollzieht sich bei Vorliegen eines Flexibilitätsproblems nicht automatisch. Stattdessen muss nach Aktionsmöglichkeiten gesucht werden, um Anpassungsaktionen ausführen zu können.¹⁹⁰ Anders gesagt, ist das Flexibilitätsangebot des Unternehmens nicht in der Lage, den erforderlichen Flexibilitätsbedarf zu decken und es werden Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen notwendig. In Abhängigkeit von der jeweiligen Ausprägung des Flexibilitätsbedarfes, ist festzulegen, wie die Flexibilitätsmerkmale Handlungsspielraum, Handlungszeit, und Handlungsbereitschaft zu variieren sind. Durch die Veränderung der Flexibilitätsmerkmale kann das Flexibilitätspotential dem Flexibilitätsbedarf angepasst werden. Im Folgenden soll bei der Nutzung des Begriffes Handlungsspielraum in Verbindung mit dem Flexibilitätsmanagementzyklus angenommen werden, dass die Definition und Auswahl von Handlungsspielräumen die Veränderung weiterer Flexibilitätsmerkmale mit einschließt. Die beschriebene kausale Folgebeziehung kennzeichnet den in Abbildung 14 dargestellten Zyklus des Flexibilitätsmanagements.

Die einzelnen Phasen des Managementzyklus finden sich in der Literatur durchgängig wieder, wobei sie nicht immer mit dem Terminus „Flexibilitätsmanagement“ belegt werden.¹⁹¹ Erst in späteren Arbeiten zeigt sich das Bestreben, die Flexibilitätsplanung und -gestaltung explizit als Managementaufgabe zu definieren.¹⁹² Unabhängig von den in der Literatur genutzten Termini wird in einem ersten Schritt empfohlen, Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot zu erkennen und zu messen. Das Erkennen von Flexibilitätsbedarf setzt Methoden zur Identifikation interner und externer Dynamik voraus. Die Messung von Flexibilität ist notwendige Voraussetzung für die Gegenüberstellung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot zur Identifikation des Flexibilitätsproblems. Die Definition und Auswahl geeigneter Handlungsspielräume im Rahmen der Flexibilitätsgestaltung wird durch methodische Ansätze unterstützt, die darauf abzielen, Flexibilitätspotentiale gezielt zu gestalten und zu nutzen.

¹⁸⁶ Sie finden ihren Ausdruck in Flexibilitätsanforderungen, die das vorhandene Flexibilitätspotential übersteigen. Vgl. dazu im Einzelnen Kapitel 3.2.1.

¹⁸⁷ Vgl. Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 75; vgl. auch die Ausführungen in den nächsten Kapiteln.

¹⁸⁸ Vgl. insbesondere Kapitel 2.1.3.6, in dem das Auftreten von Flexibilitätskosten besprochen wird.

¹⁸⁹ Vgl. Maier, K. (1982), S. 176; Hillmer, H.-J. (1987), S. 131.

¹⁹⁰ Vgl. Maier, K. (1982), S. 177.

¹⁹¹ Vgl. die grundlegenden Arbeiten von Behrbohm, P. (1985); Dormayer, H.-J. (1986); Hillmer, H.-J. (1987).

¹⁹² Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 127 ff.; Damisch, P.N. (2002), S. 102 ff.; Nagel, M. (2003), S. 32-36.

Nach einer Klassifikation von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot werden im folgenden Unterkapitel globale Leitlinien der Flexibilitätsgestaltung diskutiert.¹⁹³ Mit der Vorstellung von Strategien der Flexibilitätsgestaltung im darauf folgenden Unterkapitel erfolgt eine Einordnung möglicher Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen in das flexibilitätsorientierte Projektionsmodell.

3.1.2 Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot

Eine vollständige Auflistung produktionswirtschaftlicher Flexibilitätsbedarfe ist kaum möglich, da sie einen großen Teil des Spektrums betrieblicher Entscheidungstatbestände umfassen.¹⁹⁴ Veränderungen, die Auslöser für Flexibilitätsbedarfe sind, können, wie in Tabelle 5 gezeigt, nach unterschiedlichen Kriterien klassifiziert werden.¹⁹⁵ Gleichmaßen lassen sich die Flexibilitätsbedarfe hinsichtlich ihrer zeitlichen Dimension tendenziell in strategische und operative Flexibilitätsbedarfe unterscheiden. Damit lehnt sich die Betrachtung von Flexibilitätsbedarfstypen an die bekannte hierarchische Einteilung der Aufgabenbereiche des Produktionsmanagements an.¹⁹⁶

Tabelle 5: Klassifizierung von Flexibilitätsbedarf¹⁹⁷

Merkmal	Ausprägung - strategisch		Ausprägung - operativ
Ursprung	systemexterne Ursachen		systeminterne Ursachen
Zielwirkung	funktionskritisch, zielabträglich, zielfördernd		
Eintritts- wahrscheinlichkeit	ungewiss (unsicher),	stochastisch (Risiko),	deterministisch (sicher)
Entwicklungs- tendenz	strukturell (Basisinnovation)	zyklisch (saisonale Nachfrageschwankung),	
Wirkungsrichtung	expansiv, kontraktiv		
Art des Eintritts	schlagartig, kontinuierlich		
Dauer	permanent, vorübergehend		
Vertrautheitsgrad	objektiv neu,	subjektiv neu,	bekannt

Der Ursprung von Flexibilitätsbedarf kann in systemexternen und systeminternen Veränderungen liegen.¹⁹⁸ Ihren Ursprung finden Veränderungen innerhalb des Systems, zum Beispiel in Form von Anlagenstörungen oder Personalausfall, und außerhalb des Systems, zum Beispiel durch Nachfrageschwankungen auf der Absatzmarktseite oder neue Technologien

¹⁹³ Möglichkeiten der Messung von Flexibilität und der methodischen Unterstützung der Flexibilitätsgestaltung sind Betrachtungsgegenstand des Kapitels 3.2.

¹⁹⁴ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 195; Maier, K. (1982), S. 181. Vgl. insbesondere auch die Ergebnisse einer Unternehmensbefragung bei Kirchner, S.; Winkler, R.; Westkämper, E. (2003).

¹⁹⁵ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 72-77; Behrbohm, P. (1985), S. 195-202.

¹⁹⁶ Vgl. Kapitel 2.2.1.

¹⁹⁷ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 195 ff. und die dort zitierte Literatur sowie Hillmer, H.-J. (1987), S. 73-77.

¹⁹⁸ Vgl. zu den Ursachen für Flexibilitätsbedarf im Einzelnen 3.2.1.

auf dem Beschaffungsmarkt.¹⁹⁹ Die Wirkung von Änderungen kann eine Expansion des Produktionssystems erfordern, wenn zum Beispiel die Nachfrage nach Produkten steigt. Ebenso ist, beispielsweise bei sinkender Nachfrage, eine kontraktive Wirkung möglich. Die einen Anpassungsbedarf hervorrufenden Änderungen können innerhalb bestehender Strukturen zyklisch schwanken oder in Strukturbrüchen, wie z.B. Technologieinnovationen, zu finden sein. Eng verbunden mit der Entwicklungstendenz der Änderungen ist die Unterscheidung nach der Art des Eintritts, wobei zwischen schlagartigen Änderungen und kontinuierlichen Veränderungen unterschieden wird. Beispiel für eine schlagartige Änderung ist eine Mitarbeiterfluktuation aufgrund einer Abwerbmaßnahme durch einen Konkurrenten, welche die kontinuierliche, natürliche Fluktuation plötzlich erhöht. Änderungen können permanent oder nur temporär auf das Unternehmen einwirken. Einen Anpassungsbedarf erfordernde Änderungen rufen auf diese Weise einerseits langfristig grundlegende strukturelle Veränderungen zur Umwelt hervor oder können andererseits kurzfristig im Rahmen routinemäßiger Anpassung verarbeitet werden. In der Regel gründet sich kurzfristiger Anpassungsbedarf im operativen Bereich auf bekannte Veränderungen, während langfristige Änderungen der Unternehmensumwelt oft für das Unternehmen objektiv neue Anpassungen erfordern. Anpassungserfordernisse können sich aus Veränderungen ergeben, die nicht vorhersehbar sind und über deren Eintreten ein hohes Maß an Unsicherheit vorliegt, sie können sich jedoch ebenso aus sicher prognostizierbaren Veränderungen ergeben. Es wird die Auffassung vertreten, dass auch klar deterministische Veränderungen Anpassungsbedarf hervorrufen und Gegenstand von Flexibilitätsentscheidungen sind.²⁰⁰ Es ist unmittelbar einsichtig, dass die identifizierten Typen der Art von Umweltveränderungen mit daraus erwachsenen Flexibilitätsbedarfen korrespondieren bzw. durch Systemzielgefährdung Flexibilitätsbedarfe hervorrufen.²⁰¹

Das Flexibilitätsangebot kennzeichnet die Anpassungsfähigkeit von Systemen als Reaktion auf auftretende Veränderungen.²⁰² Das Angebot an Flexibilität kann in gleicher Weise wie der Flexibilitätsbedarf zunächst nach seiner Herkunft unterschieden werden und damit danach, ob die Nutzung von Flexibilitätspotentialen innerhalb oder außerhalb des betrachteten Systems liegt.²⁰³ Ein Beispiel für ein fremdbedingtes Flexibilitätsangebot ist eine Erhöhung von Marketingmaßnahmen bei Verlust von Marktanteilen des Wettbewerbers durch den Wettbewerber. Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit sind die systemeigenen Flexibilitätspotentiale. Das Flexibilitätsangebot findet sich im Flexibilitätspotential der einzelnen hierarchischen Ebenen und wurde im Kapitel 2.2.2.2 als Pendant des Flexibilitätsbedarfes innerhalb des Flexibilitätsorientierten Projektionsmodells ausführlich vorgestellt. Es kann durch die Merkmale der Flexibilität beschrieben werden.

¹⁹⁹ Vgl. Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 69.

²⁰⁰ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 204.

²⁰¹ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 74; Behrbohm, P. (1985), S. 173.

²⁰² Vgl. Kapitel 3.1.1.

²⁰³ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 205.

3.1.3 Leitlinien der Flexibilitätsgestaltung

Umweltturbulenzen können Chancen und Risiken für das Unternehmen bedeuten.²⁰⁴ Einerseits kann die unternehmensinterne Flexibilität dazu genutzt werden, Umweltänderungen, die mit dem Zielsystem nicht konform laufen, auszugleichen und dadurch Risiken abzuwehren. Auf der anderen Seite können Änderungen Chancen eröffnen, die bei vorhandener Flexibilität des Unternehmens durch das Unternehmen genutzt werden können. Ein frühzeitiges Erkennen von Chancen und Risiken, ausreichendes Flexibilitätspotential und die Möglichkeit, dieses zu nutzen, sichern dem Unternehmen die Möglichkeit, Chancen zu nutzen und Risiken abzuwehren. In der Literatur wird deshalb die Forderung laut, eine Verknüpfung zu den Analysen der externen Marktturbulenz herzustellen.²⁰⁵ Auf kürzestem Weg soll geprüft werden können, ob das Produktionssystem das Flexibilitätspotential besitzt, um auf Änderungen reagieren zu können.

Flexibilitätsgestaltung zielt auf einen sinnvollen Umgang mit dem Flexibilitätspotential eines Unternehmens. Dieser sinnvolle Umgang findet sich weder in einer Maximierung noch in einer aus einem Optimierungsprojekt resultierenden Optimierung der Flexibilität.²⁰⁶ Vielmehr ist durch das Unternehmen genau das Flexibilitätspotential bereitzustellen, welches das Unternehmen in die Lage versetzt, den Umweltaanforderungen zu entsprechen. Bevor Maximierung und Optimierung als inadäquate Leitlinien der Flexibilitätsgestaltung diskutiert werden, sei zunächst auf das Gesetz der erforderlichen Varietät hingewiesen. Mit dessen Hilfe soll der eben gestellten Anforderung entsprochen werden, den Umweltaanforderungen genau das erforderliche Maß an Flexibilität gegenüberzustellen.

Ein Handlungsspielraum wird aus systemtheoretischer Sicht durch die Varietät eines Systems bestimmt.²⁰⁷ Die Varietät eines Systems beschreibt die möglichen Ausprägungen der Eigenschaften der Systemelemente, der Systemstruktur als Beziehungsgefüge zwischen den Systemelementen und der Systemparameter, die diese Beziehungen numerisch spezifizieren.²⁰⁸ Mit steigender Varietät eines Systems wird demnach ein immer größerer Raum potentieller Handlungsmöglichkeiten aufgespannt.²⁰⁹ ASHBYs „law of requisite variety“ besagt, dass ein System mit einer gegebenen Varietät nur mit Hilfe eines Systems, das eine ebenso hohe Varietät besitzt, unter Kontrolle gebracht werden kann.²¹⁰ Demnach ist es einem Unternehmen nur möglich, die äußere Flexibilität durch den Aufbau einer dieser entsprechenden inneren Unternehmensflexibilität zu bekämpfen.²¹¹ Das Unternehmen ist dazu angehalten, sich Felder zum Aufbau unternehmensinterner Flexibilität zu suchen, die dem angestrebten Entwicklungspfad und der Zielsetzung des Unternehmens entsprechen, um das Unternehmen in Bezug zu seiner Umwelt in einen stabilen Zustand zu versetzen.²¹²

²⁰⁴ Vgl. Hopfmann, L. (1989), S. 43; Hillmer, H.J. (1987), S. 23; Damisch, P.N. (2002), S. 49.

²⁰⁵ Vgl. Westkämper, E.; Wiendahl, H.-H.; Pritschkow, G.; Rempp, B.; Schanz, M. (2000), S. 207; Corsten, H. (2000), S. 19. Dieser Forderung kann durch den Aufbau informativer Umweltkopplungen nachgekommen werden. Vgl. dazu Kapitel 3.2.1.

²⁰⁶ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 92-94.

²⁰⁷ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 22.

²⁰⁸ Vgl. Milling, P. (1979), S. 53. Vgl. auch Kapitel 4.1.1.

²⁰⁹ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 47.

²¹⁰ Vgl. Ashby, W. R. (1985), S.299.

²¹¹ LUHMANN tätigt die Aussage: „Nur Komplexität kann Komplexität reduzieren.“ Luhmann, N. (1993), S. 49.

²¹² Vgl. Kirchhof, R. (2003), S. 54.

Würde ein Unternehmen seine Flexibilität maximieren, wäre es in der Lage, sich jedem denkbaren Umweltzustand anzupassen. Jedes noch so schwache Signal aus der Umwelt würde sich in Ressourcen verzehrende Anpassungen auswirken. Aufgrund der Vielzahl an Funktionsbereichen, die in der Regel heterogenen Teilzielen folgen, und den systeminternen Interaktionen zwischen den Teilbereichen wäre ein Unternehmen in diesem Zustand in hohem Maße instabil. Es entstünden zusätzliche Kosten, höhere Belastungen für die Mitarbeiter und es bestünde die Gefahr einer zu geringen Fokussierung innerhalb des Unternehmens.²¹³ Für jeden Unternehmensbereich ist deshalb ein passendes Flexibilitätspotential zu finden. So werden dem Verkaufsbereich regelmäßig Handlungsspielräume mit einer großen Zahl an Handlungsalternativen zur Verfügung gestellt, während der Finanzbuchhaltung wenig Handlungsalternativen eingeräumt werden. Entscheidungskriterium ist in beiden Beispielen der erforderliche Flexibilitätsbedarf. So stellen beispielsweise auf der einen Seite die Kunden vielfältige, unterschiedliche Anforderungen an die Leistungen des Unternehmens während andererseits die gesetzlichen Bestimmungen zur Durchführung des betrieblichen Rechnungswesens relativ starr sind.

Bei der Gestaltung von Flexibilitätspotentialen in Form von Optimierungsprojekten würden die zu verfolgenden Ziele als konstant angesehen werden. Das Vorliegen vollständiger Informationen wäre als Annahme vorausgesetzt. Realiter ändern sich Ziele im Zeitablauf und Entscheidungen werden unter Ungewissheit getroffen. Dem Optimierungsgedanken folgend darf die Aufgabe der Flexibilitätsgestaltung deshalb nicht darin bestehen, innerhalb eines Optimierungsprojektes das optimale Flexibilitätspotential zu bestimmen. Vielmehr ist die Fähigkeit zu optimieren, neue Anpassungszustände herbeizuführen. Es wird die Anforderung gestellt, Optimierungsprojekten im eben beschriebenen Sinne den Einmaligkeitscharakter zu nehmen und sie in unendlich kleinen Abständen durchzuführen. Flexibilitätsoptimierung erhält damit den Rang eines Verhaltensregulativs.²¹⁴ Für die Aufrechterhaltung des erforderlichen Maßes an Flexibilität sind jeweils die im Folgenden dargestellten grundlegenden Strategien handlungsleitend.

3.1.4 Strategien der Flexibilitätsgestaltung

Wie bei der Vorstellung des Merkmals der Mehrstufigkeit besprochen und mit dem flexibilitätsorientierten Projektionsmodell gezeigt, trifft die jeweils übergeordnete Ebene innerhalb des hierarchischen Planungssystems Entscheidungen über das Flexibilitätspotential, das der untergeordneten Ebene zur Verfügung gestellt wird.²¹⁵ Die Gegenüberstellung des vorhandenen Flexibilitätsangebots und des Flexibilitätsbedarfs in einem Portfolio erlaubt die Ableitung von Flexibilitätsstrategien.

Bei der Gegenüberstellung im Portfolio kann man einerseits Flexibilitätsbedarf und -angebot mit den Ausprägungen von „niedrig“ bis „hoch“ belegen und auf diese Weise Über- bzw. Unterdeckungsverhältnisse feststellen und Gestaltungsbedarf ableiten.²¹⁶ Alternativ kann man sich

²¹³ Vgl. zu den Folgen einer Maximierung der Flexibilität Das, T.K.; Elango, B. (1995), S. 65.

²¹⁴ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 94.

²¹⁵ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 497-500; zur Mehrstufigkeit Kapitel 2.1.3.5.

²¹⁶ Vgl. Maier, K. (1982), S. 179; BEHRBOHM fügt neben den Ausprägungen „niedrig“ und „hoch“ noch die Ausprägung „durchschnittlich“ ein. [Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 228.]

der im Rahmen des flexibilitätsorientierten Projektionsmodells getroffenen Einteilung der operativen, taktischen und strategischen Flexibilitätsebene bedienen.²¹⁷ Im Folgenden soll die zweite Darstellungsform beschrieben werden, da sie unmittelbar auf das mit dem flexibilitätsorientierten Projektionsmodell beschriebene Gedankenmodell aufsetzt und ein tieferes Verständnis für die Formulierung von Flexibilitätsproblemen und für die Ableitung von Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen gibt. HILLMER stellt in dem Flexibilitätpotential-Flexibilitätsbedarfportfolio die Handlungsspielräume und das damit verbundene vorhandene Anpassungsverhalten der unterschiedlichen hierarchischen Ebenen in der in Abbildung 15 gezeigten Form dar.

Bei der Flexibilitätsgestaltung werden auf den unterschiedlichen hierarchischen Ebenen des Unternehmens Zustände angestrebt, bei denen sich Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot auf dem gleichen Flexibilitätsniveau befinden. Dies ermöglicht so genanntes adaptives Anpassungsverhalten. Mono-adaptives Anpassungsverhalten vollzieht sich auf operativer Ebene durch Nutzung des Flexibilitätpotentials, das durch die taktische Ebene vorgegeben wurde. Es ist dann gewährleistet, wenn das der operativen Ebene zur Verfügung stehende Flexibilitätpotential dem Flexibilitätsbedarf entspricht, der auf der operativen Ebene nachgefragt wird. Im Produktionsbereich kann das Flexibilitätpotential der operativen Ebene beispielsweise in Möglichkeiten der zeitlichen oder Intensitätsmäßigen Anpassung von Kapazitäten bestehen. Monoadaptives Verhalten vollzieht sich in gegebenen Strukturen ohne Änderungen der Systemstruktur. Gleichmaßen finden sich auf taktischer und strategischer Ebene Flexibilitätpotentialniveaus, die einen ausgeglichenen Zustand zwischen Bedarf und Angebot beschreiben und dadurch so genanntes Multiadaptives und Ultraadaptives Verhalten ermöglichen. Multiadaptives und Ultraadaptives Verhalten schließen Möglichkeiten von Änderungen der Systemstruktur mit ein.²¹⁸

Innerhalb der Gestaltungsmatrix wird das Flexibilitätsangebot durch die Bereitstellung von Flexibilitätpotential beschrieben.²¹⁹ Dadurch werden alle Merkmale des Flexibilitätsbegriffes in die Betrachtung mit eingeschlossen. Grundlage für die Darstellung der Konstellationen im Portfolio ist die Annahme, dass eine vollständige Handlungsbereitschaft besteht und vorhandene Flexibilitätpotentiale voll ausgeschöpft werden.²²⁰

²¹⁷ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 141.

²¹⁸ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 138.

²¹⁹ Der Begriff Flexibilitätpotential wird damit im Folgenden inhaltlich synonym zum Begriff Flexibilitätsangebot genutzt.

²²⁰ Dem Flexibilitätpotential wird für die folgenden Betrachtungen weiterhin unterstellt, messbar zu sein.

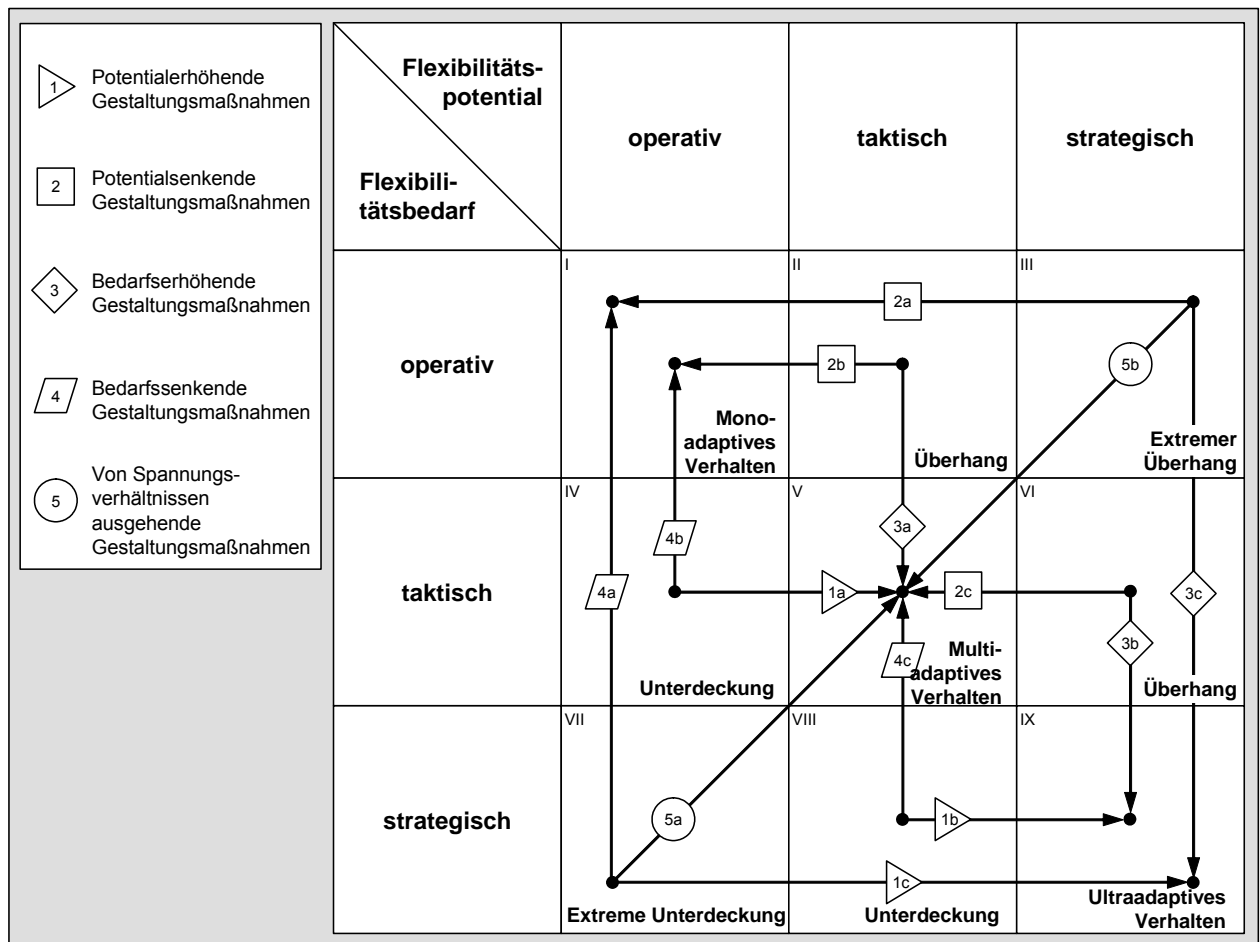


Abbildung 15: Flexibilitätspotential-Flexibilitätsbedarfsportfolio²²¹

Eine Disparitätskonstellation in Form einer Flexibilitätsunterdeckung wie in Feld IV tritt auf,

- wenn die Handlungsspielräume auf der operativen Ebene derzeit und/oder zukünftig nicht die Handlungsalternativen beinhalten, die benötigt werden um monoadaptives Verhalten zu gewährleisten und
- wenn dieses Versagen ursächlich auf Fehlverhalten der taktischen Ebene zurückzuführen ist.

Bei entstehenden Disparitäten zwischen Bedarf und Angebot kann grundsätzlich immer sowohl bei dem Bedarf an Flexibilität als auch bei deren Angebot als Gestaltungsparameter angesetzt werden.

So können beispielsweise Lieferengpässe an Halbfertigprodukten zu Produktionsstillstand führen, ohne dass auf der operativen Ebene die Möglichkeit bestanden hätte, dieses zu verhindern. Eine Flexibilitätspotentialerhöhende Maßnahme würde darin bestehen, dass die taktische Ebene die Handlungsalternative nutzt, neue Anlagen zu beschaffen. (1a) Dieses Multiadaptive Verhalten würde dazu führen, dass fehlende Halbfabrikate in Eigenproduktion

²²¹ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 147.

erstellt werden könnten. Dem Flexibilitätsbedarf auf taktischer Ebene würde in diesem Fall dadurch begegnet, dass der Handlungsspielraum, welcher der operativen Ebene zur Verfügung gestellt wird, durch die taktische Ebene um eine Handlungsalternative, nämlich die der Eigenproduktion, erweitert wird.

Andererseits wäre es möglich, den Flexibilitätsbedarf zu senken, indem die taktische Ebene die Handlungsalternative nutzt, konstruktive Änderungen am Produkt durchzuführen, so dass der Zukauf überflüssig wird. (4b) Der operativen Ebene wird auf diese Weise durch eine Änderung der Flexibilitätsanforderungen ohne Änderung bestehender Strukturen durch Senkung des Flexibilitätsbedarfes die Möglichkeit gegeben, Monoadaptives Verhalten zu erzeugen.

Überhang und Unterdeckung von Flexibilität kann auch aus Disparitäten zwischen der operativen und der strategischen Ebene erwachsen. Feld VII kennzeichnet eine extreme Unterdeckung an Flexibilität. Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen setzen hier bei den Handlungsspielräumen der strategischen Ebene an. Das Beispiel des Auftretens von Anpassungserfordernissen aufgrund von Lieferengpässen bei einem Halbfertigprodukt soll weitergenutzt werden. Es wird angenommen, dass die taktische Ebene realiter nicht über die oben angesprochenen Handlungsalternativen verfügt oder der Meinung ist, nicht über sie zu verfügen, so dass der Handlungsbedarf an die strategische Ebene weitergeleitet wird.²²² Die strategische Ebene hat weiter reichende Freiheitsgrade bei der Definition und Modifikation von Handlungsspielräumen als die taktische Ebene, um das Flexibilitätsangebot zu erhöhen oder den Flexibilitätsbedarf zu senken. So könnte die strategische Ebene beispielsweise den Flexibilitätsbedarf durch das Angebot eines Substitutionsproduktes senken. (4a) Das kritische Halbfertigprodukt würde dann nicht mehr nachgefragt und Monoadaptives Verhalten auf operativer Ebene wäre möglich. Andererseits könnte durch eine strategische Allianz mit dem Lieferanten dem Flexibilitätsbedarf langfristig begegnet werden. (1c) Der Umgang mit dieser Art von Flexibilitätsanforderungen würde damit zur „Chef-Sache“ erhoben. Den Flexibilitätsanforderungen würde zukünftig durch die Ausschöpfung von Handlungsspielräumen auf der strategischen Ebene begegnet.

Gleichermaßen ist es möglich, dass die strategische Ebene Anpassungen dieser Form der Umweltdynamik von der taktischen Ebene bearbeitet sehen möchte. In diesem Sinne wäre es möglich, das Personal der taktischen Ebene in Methoden des Lieferantencontrollings schulen zu lassen, um solche Engpasssituationen zu vermeiden. Das Instrumentarium eines laufenden Lieferantencontrollings wäre eine neue Handlungsalternative auf der taktischen Ebene, die Multiadaptives Verhalten ermöglicht. (5a)

Ein Überhang an Flexibilität in Feld II besteht dann,

- wenn auf der operativen Ebene monoadaptives Verhalten möglich ist und der bestehende und/oder prognostizierte Flexibilitätsbedarf mit den vorhandenen Flexibilitätspotentialen langfristig abgedeckt werden kann,
- wenn jedoch trotzdem auf der taktischen Ebene Flexibilitätspotential erarbeitet und zur Verfügung gestellt wird, welches auf der operativen Ebene nicht benötigt wird.

²²² Vgl. hierzu die im Projektionsmodell in Kapitel 2.2.2 diskutierten Über- und Unterordnungsverhältnisse sowie die Ausführungen zum Merkmal der Mehrstufigkeit von Flexibilität in Kapitel 2.1.3.5.

Ein Beispiel hierfür ist die Suche und Einbindung von Lieferanten für spezielle Halbfertigprodukte, obwohl diese Produkte in der erforderlichen Menge und Qualität erfolgreich in der eigenen Werkstatt hergestellt werden und auch zukünftig hergestellt werden können. Dieses beispielhafte Szenario ist Grundlage für die weiteren Betrachtungen.

Eine Strategie zur Vermeidung der Disparität in Feld II durch Reduzierung des Flexibilitätspotentials würde beispielsweise darin bestehen, die Bestrebungen der Lieferantensuche auf taktischer Ebene zu unterbinden. (2b) Gleichsam ist eine Flexibilitätsbedarfserhöhende Strategie in der Form möglich, dass die Rahmenbedingungen dafür geschaffen werden, dass das vorhandene, überschüssige Flexibilitätspotential benötigt wird. Eine Bedarfserhöhende Strategie könnte beispielsweise darin bestehen, die Nachfrage nach dem Produkt, welches die speziellen Halbfertigprodukte benötigt, durch Marketingmaßnahmen so zu erhöhen, dass die Einbindung von Lieferanten notwendig wird. (3a)

Extremer Überhang an Flexibilitätspotential besteht in Feld III. So wäre es auf strategischer Ebene möglich, dass über Notfallstrategien bei Ausfall von Lieferanten nachgedacht wird, obwohl dies vor dem beispielhaft beschriebenen Hintergrund nicht notwendig ist. Die Unterlassung dieser Bestrebungen würde den Flexibilitätsüberschuss beseitigen. (2a) Ebenso wäre es möglich, den Flexibilitätsbedarf zu erhöhen, indem die Nachfrage nach den speziellen Halbfertigprodukten in dem Umfang gesteigert wird, dass die Notfallstrategien sinnvoll werden. (3c) Dem vorhandenen Flexibilitätspotential würde damit ein adäquater Flexibilitätsbedarf gegenübergestellt. Eine gleichzeitige Änderung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätspotential in eben beschriebener Form könnte auch dadurch erfolgen, dass der taktischen Ebene Handlungsalternativen dauerhaft übertragen werden, die den Bedarf senken und das Potential erhöhen. (5b)

In Feld VI ist ein strategisches Flexibilitätspotential vorhanden, welches in dieser Form nicht benötigt wird, während Verhaltenszustände, die sich in Feld VIII finden, eine Flexibilitätsunterdeckung kennzeichnen. Auch hier ist es durch oben beschriebene Bedarfs- bzw. Potentialbeeinflussende Maßnahmen möglich, vertikale bzw. horizontale Verschiebungen im Portfolio zu veranlassen, welche dazu führen, dass Multi- oder Ultraadaptives Verhalten ermöglicht wird. (2c, 3b sowie 4c, 1b)

Alle besprochenen Maßnahmen der Flexibilitätsgestaltung zielen darauf ab, Flexibilitätsüberhang zu vermeiden, da er regelmäßig Kosten verursacht²²³ und Flexibilitätsunterdeckung entgegenzuwirken, da sonst Chancen nicht genutzt und Risiken nicht abgewehrt werden können.²²⁴ Feld I, V und IX stellen den anzustrebenden Zustand eines ausgewogenen Verhältnisses zwischen Flexibilitätsangebot und Flexibilitätsbedarf auf den unterschiedlichen hierarchischen Ebenen dar, bei dem adaptives Verhalten möglich ist.

²²³ Vgl. In dieser Situation wird von dem Vorhandensein von Leistungsüberschüssen gesprochen. Vgl. Corsten, H. (2000), S. 24.

²²⁴ Eine weiter gehende Beschäftigung mit Flexibilitätskosten findet sich in Kapitel 2.1.3.6.

3.2 Methodenunterstützung bei der Gestaltung der Flexibilität

3.2.1 Identifikation von Flexibilitätsbedarf

Flexibilitätsbedarf entsteht aufgrund externer und interner Dynamik.²²⁵ Die Identifikation und Analyse externer und interner Dynamik erfordert methodische Unterstützung. Vorhandene Methoden zur Bestimmung der externen Dynamik finden sich im Schwerpunkt auf strategischer Ebene, während Methoden zur Bestimmung der internen Dynamik vorzugsweise auf operativer Ebene zu finden sind.²²⁶ Auf strategischer Ebene konstituieren Disparitäten zwischen vorhandenen und anstrebenswerten Zuständen der Beziehung des Unternehmens zur Unternehmensumwelt den Flexibilitätsbedarf. Der Flexibilitätsbedarf auf der operativen Ebene entsteht durch Disparitäten zwischen dem aktuellen und erwünschten Systemverhalten des produktiven Ausführungssystems. In beiden Fällen kann Flexibilitätsbedarf kommuniziert werden.

Auf strategischer Ebene werden als Gründe, die eine Anpassungsfähigkeit des Produktionssystems und der das Produktionssystem umgebenden Systeme erfordern, hohe Komplexität, Dynamik sowie zahlreiche Diskontinuitäten im Unternehmensumfeld genannt, die oft mit dem Begriff „Umweltturbulenz“ bezeichnet werden.²²⁷ Um externe Daten im Unternehmen nutzen zu können, ist es erforderlich, eine informative Umweltkopplung aufzubauen.²²⁸ Die Umweltkopplung in Form des Aufbaus von Früherkennungssystemen ist notwendige Voraussetzung für das Erkennen von Flexibilitätsbedarf²²⁹ und die darauf folgende Flexibilitätsgestaltung.²³⁰ Früherkennungssysteme bestehen aus der Nutzung einer unternehmens- und problemspezifischen Auswahl an Prognosemethoden sowie laufenden Beobachtungen des Unternehmensumfeldes. In der Wissenschaft wurde eine Vielzahl von Prognosemethoden entwickelt, die praktischen Einsatz erfahren. Grundsätzlich findet eine Unterscheidung in quantitative und qualitative Prognosemethoden statt.

Prognosemethoden mit qualitativem Schwerpunkt finden sich beispielsweise in Roadmapping-Verfahren, Szenariotechniken oder in der Delphi-Methode.²³¹ Prognosen, die sich vornehmlich auf quantitative Methoden stützen, sind in Zeitreihenanalysen, wie Trendextrapolationen und Regressionsanalysen, oder in kausalen Methoden, wie ökonometrischen Modellen oder Lebenszyklusanalysen, zu finden.²³² Bei der Anwendung der Methoden sind die schlecht strukturierten Planungsaufgaben in Teilprobleme zu zerlegen.²³³ Eine Vielzahl von Teilproblemen

²²⁵ Vgl. Kapitel 3.1.2.

²²⁶ Vgl. Behrbohm, P. (1985), S. 196 und Kapitel 2.2.1.1.

²²⁷ Vgl. Corsten, H. (2000), S. 20; Hillmer, H.-J. (1987), S. 14, 15.

²²⁸ Vgl. Mössner, G.U. (1982), S. 47.

²²⁹ So stellt auch MÖSSNER Möglichkeiten der Früherkennung von Anpassungserfordernissen durch Prognoseverfahren in seiner Untersuchung vor die Ermittlung des Flexibilitätsbedarfes. [Vgl. Mössner, G.U. (1982) Kap. 6 und 7.]

²³⁰ Vgl. Corsten, H.; Gössinger, R. (2003), S. 6.

²³¹ Vgl. Reger, G. (2001), S. 83, 84; Mössner, G.U. (1982), S. 251.

²³² Vgl. Mössner, G.U. (1982), S. 251.

²³³ Vgl. Zäpfel, G. (1989a), S. 21, 22.

kann mit bekannten Prognosemethoden bearbeitet werden. Für spezielle Einsatzbereiche, wie beispielsweise die Prognose von Technologieentwicklungen, kann auf eigens dafür entwickelte Methoden, wie beispielsweise das Technologieroadmapping, zurückgegriffen werden.²³⁴ Die Erstellung von Szenarien ist ein anschauliches Beispiel für Prognosemethoden, welche die denkbaren Möglichkeiten zukünftiger Entwicklungen beschreiben. Die zunächst unendliche Anzahl an Freiheitsgraden hinsichtlich zukünftiger Entwicklungen wird durch die Auswahl einer begrenzten Anzahl wahrscheinlicher Szenarien eingeschränkt. Die wissenschaftliche Diskussion der Verknüpfung von Methoden der Früherkennung von Anpassungsbedarf mit dem theoretischen Gebäude des Flexibilitätsmanagements ist eher die Ausnahme als die Regel.²³⁵

Die Erkenntnisse des Einsatzes von Prognosemethoden geben die Rahmenbedingungen vor, mit denen die Auswahl zu verfolgender Strategien für die einzelnen Unternehmensbereiche erfolgt. Eine Vielzahl von Strategietypen gibt Planungsunterstützung für unterschiedliche Unternehmensbereiche.²³⁶ So werden neben Strategien, welche Produkt-Markt-Entscheidungen unterstützen beispielsweise auch Strategien über die notwendige Fertigungstiefe, Standortstrategien oder Kapazitätsstrategien zum Planungsgegenstand. Als Ergebnis der Strategieplanung lässt sich auf strategischer Ebene die Disparität zwischen dem aktuellen und dem zukünftig angestrebten Zustand sowie Verhalten des Unternehmenssystems bestimmen. Der damit definierte Flexibilitätsbedarf wird als Ziel hinsichtlich der Gestaltung der einzelnen Unternehmensbereiche an die taktische Planungsebene weitergegeben.

Die Auswahl der einzusetzenden Prognosemethoden erfolgt im Unternehmen in der Regel nicht systematisch, weil es hinsichtlich der Unterschiede in Anwendung und Wirksamkeit einzelner Methoden kaum Untersuchungen gibt.²³⁷ Darüber hinaus ist nicht davon auszugehen, dass dem strategischen Management einzelner Unternehmen die Anwendung aller bestehenden Methoden bekannt ist.

²³⁴ Vgl. Specht, D.; Behrens, S. (1999) oder Specht, D.; Frischke, S.; Behrens, S. (2002).

²³⁵ So nutzt beispielsweise DORMAYER die Marktnachfrage als Indikator zur Ermittlung von Flexibilitätsbedarf. Er evaluiert Möglichkeiten der Früherkennung von Nachfrageschwankungen aufgrund von Konjunkturprognosen. [Vgl. Dormayer, H.-J. (1986).] An anderer Stelle werden Möglichkeiten geprüft, Flexibilitätspotentiale im Unternehmen durch effektives Technologiemanagement zu identifizieren und zu gestalten. [Vgl. Specht, D.; Mieke, M.; Behrens, St. (2005)]

²³⁶ Vgl. Zäpfel (1989a), S. 86, der eine Auswahl von Strategietypen vorstellt.

²³⁷ Vgl. Reger, G. (2001), S. 83. Wenige Ausnahmen bestätigen diese Regel in einzelnen Teilbereichen. So vergleichen etwa SPECHT/MIEKE Anwendungsbereiche und Eignung der Szenariotechnik und des Roadmapping im Technologiemanagement. [Vgl. Specht, D.; Mieke, Ch. (2004)]

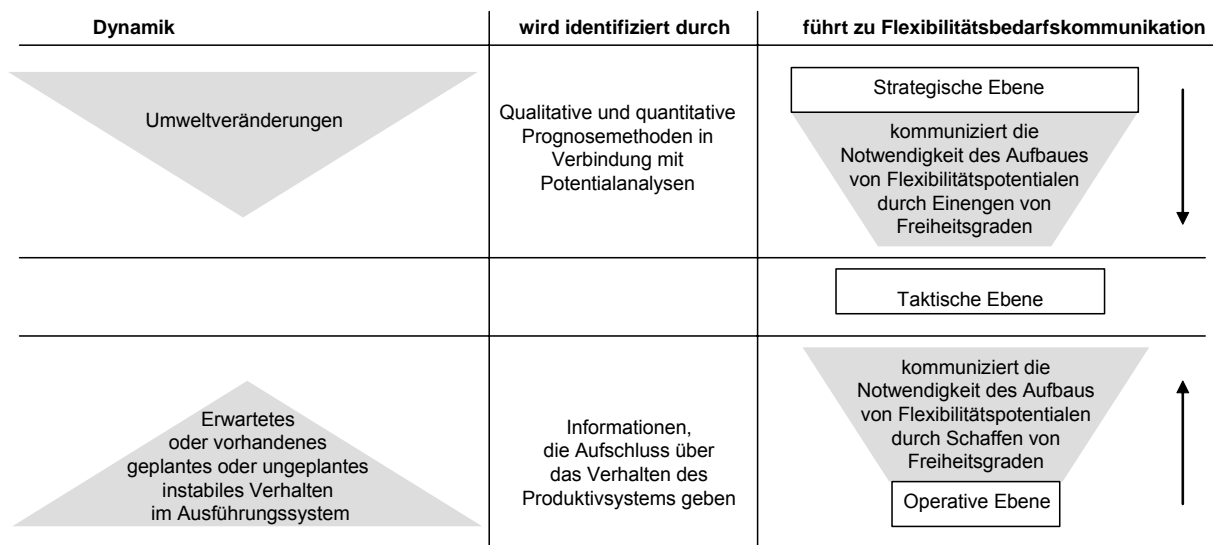


Abbildung 16: Identifikation von Flexibilitätsbedarf³⁸

Interne Dynamik resultiert aus dem Verhalten des Ausführungs- und Steuerungssystems auf operativer Ebene. Kann der Flexibilitätsbedarf durch die Handlungsspielräume der operativen Ebene nicht mehr gedeckt werden, erfolgt eine Rückmeldung an die taktische Planungsebene. So werden aus der operativen Ebene beispielsweise Planabweichungen bei Anlaufprozessen gemeldet, die dem Umstand geschuldet sind, dass sich Fertigungsprozesse nicht, wie auf der taktischen Ebene geplant, stabilisieren lassen. Die operative Ebene ist in diesem Fall nicht mit dem Flexibilitätspotential ausgestattet, um dem notwendigen Bedarf zu entsprechen. Die Systemziele auf der operativen Ebene sind gefährdet oder werden verfehlt. Wenn die Dynamik im Ausführungssystem das Erreichen der operativen Ziele verhindert, muss eine Entwicklung des Flexibilitätspotentials erfolgen. Dies kann auf taktischer Ebene durch qualitative, quantitative und strukturelle Änderungen des Produktionssystems realisiert werden.²³⁹

Dazu ist zunächst zu klären, welche Methoden genutzt werden können, um Informationen, die Aufschluss über das Verhalten des Produktivsystems geben, zeitnah zu erhalten. Dem Regelkreischarakter des hierarchischen Führungssystems folgend findet die Identifikation von Dynamik nicht in Form sporadischer einmaliger Projekte statt. Vielmehr werden fortlaufend Änderungen der relevanten Umweltparameter des Unternehmens erfasst und innerhalb des Unternehmens weitergeleitet. Auf allen Ebenen des hierarchischen Führungssystems ist das Unternehmen durch Schnittstellen mit der Systemumwelt verbunden.²⁴⁰ Relevante Änderungen der Systemumwelt werden dem Produktionsbereich über diese Schnittstellen kommuniziert.

Die Kommunikationswege können formellen und informellen Charakter haben. In den Unternehmen wird angestrebt, die Informationsflüsse durch Vorgaben der Inhalte des Berichtswesens, durch regelmäßige Workshops oder in Form von Wissensdatenbanken zu institutionalisieren, um das vorhandene Humanpotential voll auszunutzen zu können. Realiter wird diese Form der Ermittlung und Weiterleitung von Dynamik im Unternehmen durch

²³⁸ Eigene Abbildung.

²³⁹ Die taktische Ebene ist in der Lage, sowohl Bestands- als auch Entwicklungsflexibilität zu gestalten.

²⁴⁰ Vgl. Zäpfel, G. (1989b), S. 4.

unterschiedliche Argumente der innerbetrieblichen Akteure unterstützt. So kann beispielsweise intern aus der Qualitätssicherung die Forderung an den Produktionsbereich gestellt werden, eine definierte Oberflächengüte zu erreichen. Der Personalbereich könnte aufgrund eines konjunkturellen Personalmarktes Hinweise zum Zeitpunkt der Einstellung von Personal geben. Ebenso wäre es möglich, dass aus dem Produktionsbereich auf informellem Wege die Forderung laut wird, starr vorgegebene Projektpläne zum Kapazitätsaufbau um die Herausforderungen und Zeitverzögerungen, die aus Anlaufsituationen erwachsen, zu berichtigen.

Die Nutzung von Heuristiken und informeller Steuerungssysteme auf Meisterebene kennzeichnet damit ein Flexibilitätspotential, das in dieser Form durch die taktische Ebene nicht vorgesehen wurde. Der das vorhandene Flexibilitätspotential übersteigende Flexibilitätsbedarf wird in diesem Fall durch genaue Kenntnis der Systemstrukturen durch die operative Ebene selbst ermittelt. Dabei kann bezüglich des Informationsweges eine direkte und indirekte Form der Ermittlung unterschieden werden. Eine direkte Bedarfsermittlung kennzeichnet die Identifikation des aufzubauenden Flexibilitätspotentials unmittelbar auf der operativen Ebene. Hier kann zum Beispiel durch Mitarbeiter in Form eines Verbesserungsvorschlages die Aufrüstung einer bestimmten Anlage für die Bearbeitung einer bestimmten weiteren Variante empfohlen werden, um einen vorliegenden Engpass auszuschalten. Bei der indirekten Form der Bedarfsermittlung werden Daten, die Auskunft über den das vorhandene Potential übersteigenden Bedarf geben, systematisch an die taktische Ebene übermittelt.²⁴¹ So werden beispielsweise im Rahmen der laufenden Instandhaltung Störungsdaten an die taktische Ebene weitergegeben.

Weitere Beispiele für Flexibilitätsbedarf identifizierende Methoden auf operativer Ebene aus anderen betrieblichen Funktionsbereichen sind das laufende Berichtswesen im Finanzierungsbereich oder Personalverfügbarkeitsstatistiken im Personalbereich.

3.2.2 Maßzahlen zur Flexibilitätsbewertung

3.2.2.1 Klassifizierung von Maßzahlen

Bei der Definition von Maßzahlen zur Messung der Flexibilität wird auf das vorhandene Zielsystem und die ökonomischen Auswirkungen unterschiedlicher Flexibilitätsniveaus referenziert.²⁴² CORSTEN definiert das optimale Maß an Flexibilität bei Zustandekommen einer Übereinstimmung zwischen Grenznutzen und Grenzkosten bezüglich eines definierten Zieles, beurteilt diese Optimalitätsbedingung jedoch als für die Realität unbedeutend.²⁴³ An diese Einsicht anknüpfend sollen im Folgenden die vorzustellenden Maßzahlen eingeteilt werden in Maßzahlen, die einerseits auf abstraktem Niveau eine Bewertung des unternehmensinternen Flexibilitätspotentials beschreiben. Diese allgemeinen Maßzahlen stützen sich auf die definierten Merkmale der Flexibilität. Sie beinhalten einen hohen Erklärungsgehalt und Verständnisgewinn

²⁴¹ Bei der Vorstellung von Methoden zur Identifikation von Flexibilitätsbedarf wurde gezeigt, dass unter Nutzung gängiger Formen des Berichtswesens auf operativer Ebene festgestellte Disparitäten zwischen vorhandener und notwendiger Flexibilität an die taktische Ebene weitergeleitet werden.

²⁴² Vgl. Corsten, H. (2000), S. 23; Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 493, 494.

²⁴³ Vgl. Corsten, H. (2000), S. 23.

bezüglich des Untersuchungsgegenstandes. Der Produktionsbereich ist in der Regel nur ein Teilbereich der Betrachtungen. Aufgrund der hohen Abstraktionsebene sind sie für eine unmittelbare praktische Anwendung ungeeignet.

Auf der anderen Seite finden sich Vorgehensweisen zur Bestimmung der Flexibilität in geschlossenen methodischen Ansätzen. Diese Ansätze lassen sich den unterschiedlichen hierarchischen Ebenen des Flexibilitätsorientierten Projektionsmodells zuordnen. Sie werden nach der Definition allgemeiner Maßzahlen vorgestellt. Während die allgemeinen Maßzahlen auf hoher Abstraktionsebene primär auf die Bewertung abstellen, besteht bei den geschlossenen methodischen Ansätzen oft ein unmittelbarer Bezug zwischen Messung und Gestaltung der Flexibilität.²⁴⁴

3.2.2.2 Messung des Flexibilitätpotentials

In Anlehnung an die Merkmale der Flexibilität finden sich bei JANSSEN Vorschläge zur Messung von Handlungsspielräumen und Handlungszeit.²⁴⁵ Für jeden Handlungsspielraum werden Kriterien definiert, um sie vergleichbar zu machen. Die Kriterien sind die Anzahl der Handlungsalternativen, die Möglichkeit zur Feinabstimmung sowie die Spannweite von der niedrigsten bis zur höchsten Ausprägung der Handlungsalternativen. Die Möglichkeit der Feinabstimmung wird als der Abstand zwischen zwei Handlungsalternativen verstanden, wobei nicht definiert wird, wie dieser Abstand bestimmt wird oder was diesen Abstand beeinflusst. Bei der Auswertung der Gegenüberstellung wird lediglich Handlungsspielräumen, deren Handlungsalternativen eine klare Teilmengen- oder Obermengenbeziehung haben, die Fähigkeit zugesprochen, eindeutig vergleichbar zu sein.

Tabelle 6: Vergleichbarkeit von Handlungsspielräumen²⁴⁶

	Handlungsalternativen							Spannweite	$n(H_i)$	Feinabstimmung	Vergleich mit H_1
	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7				
H_1	●		●		●			$[h_1; h_5]$	3	2c	
H_2	●				●			$[h_1; h_5]$	2	4c	$H_2 \subset H_1$
H_3	●		●					$[h_1; h_3]$	2	2c	$H_3 \subset H_1$
H_4	●					●		$[h_1; h_6]$	2	5c	
H_5	●			●				$[h_1; h_4]$	2	3c	
H_6	●	●						$[h_1; h_2]$	2	1c	
H_7	●			●			●	$[h_1; h_7]$	3	3c	
H_8		●	●	●				$[h_2; h_4]$	3	1c	
H_9			●		●		●	$[h_3; h_7]$	3	2c	
H_{10}	●		●		●		●	$[h_1; h_7]$	4	2c	$H_{10} \supset H_1$
H_{11}	●	●		●	●			$[h_1; h_5]$	4	1,3c	
H_{12}	●		●		●			$[h_1; h_5]$	4	1c bzw. 2c	$H_{12} \supset H_1$

²⁴⁴ SCHNEEWEIß spricht von einer wechselseitigen Abhängigkeit zwischen Bewertung und Messung von Flexibilität. [Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 497.]

²⁴⁵ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 28-31.

²⁴⁶ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 29.

Im durch die Tabelle 6 gegebenen Beispiel sei H_1 der Referenzhandlungsspielraum. Handlungsspielräume, deren absolute Anzahl an Handlungsalternativen unter denen des Referenzhandlungsspielraumes liegt, werden als klein bezeichnet und nicht weiter untersucht. Dies betrifft im Beispiel die Handlungsspielräume H_2 und H_3 . Handlungsspielräume, deren absolute Anzahl an Handlungsalternativen größer der des Referenzspielraumes ist und deren Handlungsalternativen die Alternativen des Referenzspielraumes als Teilmenge beinhalten, werden als groß bezeichnet. Diese Eigenschaft besitzt im Beispiel der Handlungsspielraum H_{10} . Diese quantitative Aussage zur Beurteilung von Handlungsspielräumen gleicht zunächst der von SCHNEEWEIß identifizierten häufigen Messung der Flexibilität durch einfaches Abzählen der Anzahl von Reaktionsmöglichkeiten.²⁴⁷

Zur Messung der Handlungszeit wird vorgeschlagen, die Zeit für die Übergänge zwischen den Handlungsalternativen innerhalb der Handlungsspielräume zu bewerten. Abgebildet werden die Übergangszeiten in einer Matrix, die auch nicht kommutative Wertepaare beinhalten kann:²⁴⁸

$$t(H) = \begin{pmatrix} 0 & t_{12} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & 0 & \dots & t_{2n} \\ \dots & \dots & 0 & \dots \\ t_{n1} & t_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Die Matrix enthält alle Übergangszeiten t_{nm} für die jeweiligen Wechsel zwischen den Handlungsalternativen h_{nm} , wobei n die Ausgangshandlungsalternative und m die angestrebte Handlungsalternative beschreiben soll. Ein klassisches Beispiel für diese Form der Messung der Handlungszeit sind die Übergangszeiten in Form von Rüstzeiten an Fertigungsanlagen. Dieser Form der Messung der Handlungszeit liegt eine statische, auf Schätzwerten beruhende Abbildung der Handlungszeit eines Systems zugrunde. DAMISCH weist deshalb darauf hin, dass Systemveränderungen auf die Erreichung eines dynamischen Sollwertes hin ausgerichtet sind und bestehende Regelkreise oft mehrfach durchlaufen werden und die resultierende Handlungszeit unter Umständen ein Vielfaches der eben beschriebenen Handlungszeit betragen kann.²⁴⁹

Zur Vergleichbarkeit der resultierenden Flexibilitätspotentiale wird empfohlen, die gemessenen Handlungsspielräume und Handlungszeiten in einem Koordinatenkreuz abzutragen, um sie auf diese Weise vergleichbar zu machen.²⁵⁰

²⁴⁷ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996), Sp. 490.

²⁴⁸ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 50.

²⁴⁹ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 51.

²⁵⁰ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 28.

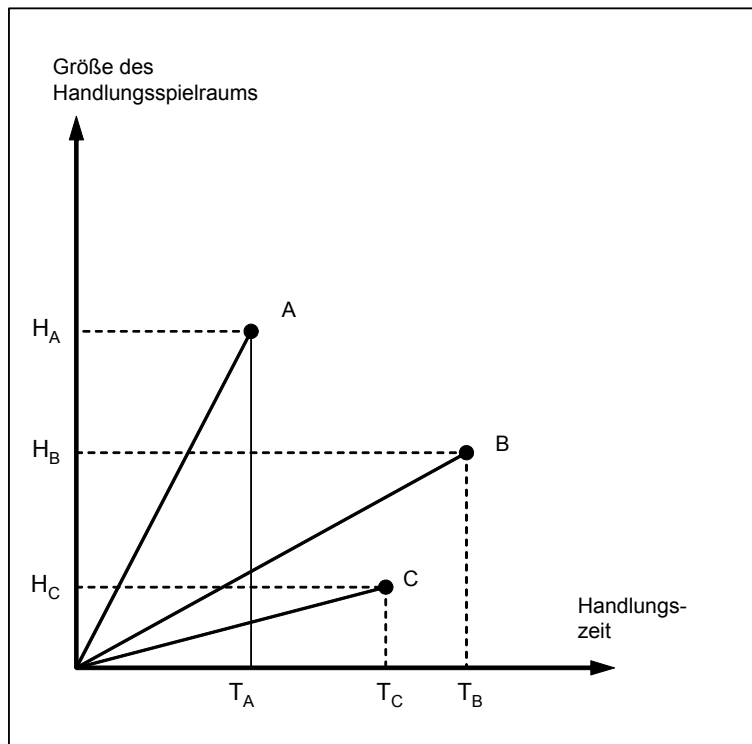


Abbildung 17: Visualisierung von Flexibilitätspotentialen²⁵¹

DAMISCH postuliert, dass Handlungsspielräume und die Handlungszeit in einer konfliktären Beziehung zueinander stehen. Demnach steigt bei wachsendem Umfang sowie einer Zunahme der Komplexität der Handlungsalternativen die Übergangsgeschwindigkeit zwischen zwei Systemzuständen.²⁵² HILLMER formuliert den Zusammenhang zwischen Handlungsspielräumen und Handlungszeit vorsichtiger und bemerkt, dass fallweise eine konfliktäre Beziehung zwischen Handlungsspielräumen und Handlungszeit bestehen kann, jedoch nicht bestehen muss.²⁵³ JANSSEN analysiert die Problematik der Darstellung, indem er zeigt, dass Handlungsspielraum und Handlungszeit mehrdimensional sind und das mit der Form der Abbildung „... eine komparative Aussage über das Ausmaß der Flexibilität nur unter engen Voraussetzungen möglich ist.“²⁵⁴ Damit verliert die Darstellung an inhaltlichem Gehalt im Sinne einer Vergleichbarkeit von Flexibilitätspotentialen oder der Messung von Flexibilitätsniveaus.

3.2.2.3 Bestimmung einer allgemeinen Maßzahl

SCHNEEWEIß führt zur Flexibilitätsbewertung die Merkmale der Flexibilität in einem Optimierungsmodell zusammen.²⁵⁵ Ausgangspunkt seiner Überlegungen ist das ökonomische Ziel, das Verlustmaß, welches aus der Bewertung vorhandener Disparitäten resultiert, durch Gestaltung eines geeigneten Handlungsspielraumes zu minimieren. Dazu minimiert er den

²⁵¹ Vgl. Janssen, H. (1997), S. 28

²⁵² Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 51, 52.

²⁵³ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 24.

²⁵⁴ Janssen, H. (1997), S. 28.

²⁵⁵ Vgl. Schneeweiß, Ch. (1996).

Erwartungswert des Verlustmaßes für die möglichen Handlungsalternativen „a“ zur Gestaltung einer Technologie respektive eines Handlungsspielraumes Θ unter Annahme eines zur Verfügung stehenden Informationsstandes I. (Formel 1)

$$\text{Formel 1: } V^0 = \min_{a \in \Theta} E\{V(A) | I\}$$

Betrachtet man beispielsweise eine flexible Fertigungszelle als ein geschlossenes System, so ließe sich diese der Notation SCHNEEWEIß folgend als Technologie definieren, die sich den in dieser Arbeit genutzten Termini folgend durch einen Handlungsspielraum beschreiben lässt. Die möglichen mit der flexiblen Fertigungszelle bearbeitbaren Produktarten und -mengen charakterisierten die zur Verfügung stehenden Handlungsalternativen. Die Anpassungsgeschwindigkeit an unterschiedliche nachgefragte Produktmengen und -arten würde die Handlungszeit der flexiblen Fertigungszelle beschreiben. Die flexible Fertigungszelle könnte zur Bearbeitung andersartiger Produkte durch Programmierung umgerüstet werden. Dies würde einen bestimmten zeitintensiven Programmieraufwand verursachen. Das Beispiel beschreibt den Übergang von einer Handlungsalternative auf die nächste unter Verbrauch einer bestimmten Handlungszeit.

Unterschiedliche Kombinationen von Handlungsspielräumen und den ihnen inhärenten Handlungszeiten wären für die nächst höhere Ebene mögliche Handlungsalternativen „a“, die mit dem Handlungsspielraum der übergeordneten Ebene realisierbar sind. Der Informationsstand I würde die Unsicherheit des Auftretens von Veränderungen beschreiben. Das Verlustmaß V^0 würde das Verlustmaß des am besten geeigneten Handlungsspielraums beschreiben, der bei Auftreten von Veränderungen mit dem vorhandenen Informationsstand ausgewählt werden konnte.

Zur Definition der Flexibilität eines Systems werden weiterhin die Verlustmaße V^- und V^+ eingeführt. V^- beschreibt den Erwartungswert des Verlustmaßes, das entsteht, wenn auf Veränderungen gar nicht reagiert wird, wenn also vollständige Inflexibilität vorausgesetzt wird. Obiges Beispiel fortführend könnte eine flexible Fertigungszelle in diesem Fall für die Bearbeitung lediglich eines Produktes programmiert sein, ohne dass weitere prognostizierte Produktartenanforderungen, selbst bei deren Auftreten, adaptiert werden könnten. Dem steht das Verlustmaß V^+ gegenüber, das sich bei vollständiger Information ergibt und damit die Auswahl der besten Strategie ermöglicht.

$$\text{Formel 2: } V^+ = E\left\{\min_{a \in \Theta} V(a) | I\right\}$$

Ein allgemeines Maß für die Flexibilität wird vorgeschlagen mit

$$\text{Formel 3: } F = \frac{V^- - V^0}{V^- - V^+}$$

Die Flexibilität ist damit der Quotient aus der Differenz des Verlustmaßes bei Inflexibilität und des Verlustmaßes bei Wahl der bestmöglichen Alternative unter dem Informationsstand I sowie der Differenz aus den jeweiligen Verlustmaßen bei Inflexibilität und bei vollständiger Information.

Reduziert man unter der Annahme, dass bei vollständiger Information das Verlustmaß V^+ nahe oder gleich Null ist, das Modell um V^+ , dann ergibt sich ein einfaches Maß für die

Standardflexibilität.²⁵⁶ Das Flexibilitätsmaß besitzt damit keine Dimension. Ein System besitzt nach dieser Definition eine optimale Flexibilität, wenn das Verlustmaß gleich Null und das Flexibilitätsmaß gleich Eins ist. In diesem Fall kann das System auf alle Veränderungen, die es betreffen, adäquat reagieren, ohne Abweichungen im Sinne der Zielerreichung in Kauf nehmen zu müssen.

3.2.3 Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung auf strategischer Ebene

3.2.3.1 Flexibilitätsprofile und Portfolio-Methoden

Grundlage für die Flexibilitätsgestaltung ist die Bewertung des Flexibilitätsbedarfs und des vorhandenen unternehmensinternen Flexibilitätsangebots in Form des Flexibilitätspotentials. In Vorbereitung auf den Einsatz der Portfolio-Technik wird in der Literatur das Aufstellen von Flexibilitätsprofilen empfohlen.²⁵⁷ Flexibilitätsprofile stellen in grafisch-tabellarischer Form für einen definierten Untersuchungsgegenstand Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot gegenüber, so dass sich Bedarfsunter- und Bedarfsüberdeckung schnell erkennen lassen.

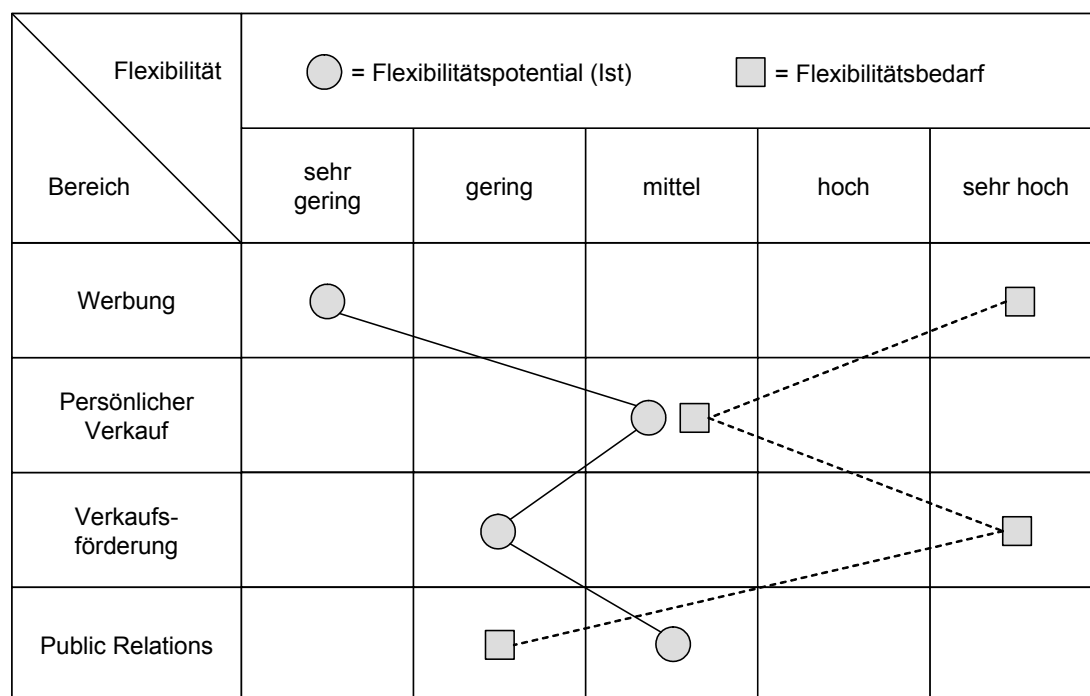


Abbildung 18: Beispiel eines Flexibilitätsprofils²⁵⁸

Insbesondere mit Blick auf das Flexibilitätsangebot ist die Erstellung von Flexibilitätsprofilen mit zwei Problemen behaftet.²⁵⁹ Einerseits ist nicht klar definiert, welche Bereiche oder Objekte in einem Flexibilitätsprofil zu untersuchen sind. So kann die Gegenüberstellung für jede

²⁵⁶ Vgl. Wild, B. (1995), S. 89, 90.

²⁵⁷ Vgl. Mössner, G.U. (1982), S. 229; Hillmer, H.-J. (1987), S. 224-230. HILLMER weist darauf hin, dass Flexibilitätsprofile auch auf taktischer und operativer Ebene einsetzbar sind. [Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 224.]; Butz, H.-W. (1976), S. 121, 124.

²⁵⁸ Hillmer, H.-J. (1987), S. 225.

²⁵⁹ Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 225.

strategische Geschäftseinheit in allen betrieblichen Funktionsbereichen erfolgen.²⁶⁰ Ebenso ist es möglich, Flexibilitätsprofile für einzelne Funktionsbereiche zu erstellen, wie Abbildung 18 beispielhaft mittels eines Flexibilitätsprofils für die Kommunikationspolitik eines Unternehmens zeigt. Ein anderes Beispiel gibt BUTZ, der ein umfangreiches Flexibilitätsprofil für den Produktionsbereich des Unternehmens erstellt.²⁶¹ Eine zweite Herausforderung bei der Erstellung von Flexibilitätsprofilen besteht darin, dass nicht klar definiert wird, welche Beurteilungskriterien bei deren Erstellung zu nutzen sind. Sehr oft ist es schwer, quantitative Kriterien zu finden. Deshalb wird empfohlen, Beurteilungskriterien danach auszuwählen, inwieweit es möglich ist, mit der Beurteilung nicht nur einzelne Flexibilitätskomponenten abzudecken, sondern Aussagen über Handlungsspielraum, -zeit und -bereitschaft gleichermaßen zu berücksichtigen.²⁶²

Ein praxisnahes methodisches Werkzeug für den Produktionsbereich entwickelt WILDEMANN.²⁶³ Es wird anhand einer empirischen Studie ein enger Bezug zwischen dem Einsatz Flexibler Fertigungssysteme (FFS) und der Wettbewerbsposition des Unternehmens festgestellt.²⁶⁴ Der Einsatz von FFS spiegelt sich in der Integration neuer Technologien in das Produktionssystem wieder. In einem Technologieportfolio werden deshalb Technologieattraktivität und Technologieposition bezüglich der Einführung flexibler Fertigungssysteme im Unternehmen abgebildet. Zur Prüfung des Flexibilitätsangebotes erfolgt eine Selbsteinschätzung, die in ihrem Aufbau dem von HILLMER und MÖSSNER empfohlenen Flexibilitätsprofil ähnelt.²⁶⁵ Neben dem eigentlichen Produktionssystem werden die vorhandenen Flexibilitätsniveaus vor- und nachgelagerter Bereiche sowie die Personalqualifikation berücksichtigt. Die Technologieattraktivität ergibt sich aus externen Chancen und Risiken. Ausgehend von der angestrebten Technologieposition können die Folgen einer aus dem Portfolio abgeleiteten Technologiestrategie mit ihren Auswirkungen auf die internen Funktionen Personal, Produktion und Finanzierung in einem Technologiekalender abbildet werden. Dieses Ergebnis der strategischen Planung integriert einerseits die Zeitkomponente und visualisiert andererseits sehr genau den Handlungsspielraum, der durch die taktische Planung umgesetzt werden soll.

Für die explizite Entscheidung über eine Erhöhung des Flexibilitätspotentials durch die Integration flexibler Fertigungssysteme empfiehlt WILDEMANN den Einsatz einer Argumenten-Bilanz.²⁶⁶ In einer Argumenten-Bilanz, die sich in ihrem Aufbau an die aus der im Rechnungswesen bekannten Bilanz anlehnt, werden die positiven Wirkungen einer Investition in FFS unter den Aktiva verbucht, während sich unter den Passiva die mit der Einführung verbundenen Herausforderungen finden. Die Aufstellung einer Argumenten-Bilanz ermöglicht die integrative Abbildung qualitativer und quantitativer Wirkungen, die mit einer Investitionsentscheidung verbunden sind. Positive Wirkungen der Einführung von FFS können sich beispielsweise in einer erwarteten Verbesserung der Wettbewerbsposition durch höhere

²⁶⁰ Vgl. Mössner, G.U. (1982), S. 230, 231.

²⁶¹ Vgl. Butz, H.-W. (1976), S. 121, 124.

²⁶² Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 229.

²⁶³ Vgl. im Folgenden Wildemann, H. (1987).

²⁶⁴ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 65.

²⁶⁵ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 79.

²⁶⁶ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 86, 87.

Flexibilität und verkürzte Produktionsanlaufzeiten finden während sich Einführungs- und Anlafrisiken und eine höhere Personalabhängigkeit negative Auswirkungen darstellen können.²⁶⁷

3.2.3.2 Einsatz von Simulationsmodellen

Eine zweite Kategorie von Lösungsansätzen zur Bewertung von Flexibilität auf strategischer Ebene beinhaltet den Aufbau kontinuierlicher simulationsfähiger Systemmodelle.²⁶⁸ In beiden auf diesem Sektor erfolgten Untersuchungen werden Modelle erstellt, die das Gesamtunternehmen abbilden. KLAUE integriert in sein Modell einen Produktions-, Personal-, Absatz- und Finanzsektor.²⁶⁹ Er untersucht die Auswirkungen technologischer Handlungsalternativen, variabler Preise oder ertragsabhängiger Steuerzahlungen auf Grundlage der Interaktion des Modellunternehmens mit dem Markt. Durch Simulation unterschiedlicher Szenarien leitet er im Wesentlichen drei einzel- und gesamtwirtschaftliche Konsequenzen ab, die sich aus dem Aufbau von Produktionsflexibilitäten ergeben.²⁷⁰ So begründet er den notwendigen Zusammenhang von Produkt- und Prozessinnovationen, die Vorteilhaftigkeit flexibler Arbeitszeitmodelle und die Notwendigkeit der Investition von Hochlohnländern in innovative Fertigungstechnologien, um vorhandene Personalkostennachteile aufzuwiegen. Das aus gesamtwirtschaftlicher Perspektive entwickelte Modell wurde mit dem Anspruch erstellt, allgemeingültig zu sein, indem es die wesentlichen Merkmale produzierender Unternehmen erfasst.²⁷¹

HOPFMANN erstellt ein Unternehmensmodell mit Auftrags-, Kapazitäts-, Material-, Kosten- und Ergebnismodul.²⁷² Er zeigt in der Untersuchung, dass ein Produktionssystem bei steigender Nachfrage im Rahmen der vorhandenen Bestandsflexibilität an Grenzen stößt und ein weiterer Ausbau der Flexibilität durch Kapazitätsaufbau im Rahmen der Entwicklungsflexibilität notwendig wird. HOPFMANN stellt heraus, dass es sich bei dem von ihm erstellten Modell um ein Erklärungsmodell handelt, welches Grundlage für die Ableitung allgemeiner Gestaltungsempfehlungen ist und dass der Einsatz als Gestaltungsmodell für reale Entscheidungssituationen mit einer spezifischen Zielsetzung jeweils einen alternativen Modellaufbau erfordert.²⁷³ Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Methodenunterstützung durch kontinuierliche Systemmodelle darauf abzielt, Modelle zu erstellen, welche Wirkungszusammenhänge und Grenzen vorhandener Handlungsspielräume erklären.

²⁶⁷ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 87.

²⁶⁸ Vgl. Eine detaillierte Vorstellung und Einordnung der Nutzung von Simulationsmodellen in der Produktionswirtschaft erfolgt in Kapitel 4. An dieser Stelle soll der Beitrag von Simulationsmodellen zur Bewertung von Flexibilität ohne der ihnen zugrunde liegenden Theorie nur skizziert werden.

²⁶⁹ Vgl. Klaue, Th. (1990).

²⁷⁰ Vgl. Klaue, Th. (1990), S. 153-159.

²⁷¹ Vgl. Klaue, Th. (1990), S. 77.

²⁷² Vgl. Hopfmann, L. (1989).

²⁷³ Vgl. Hopfmann, L. (1989), S. 163.

3.2.3.3 Weitere methodische Ansätze

Zur Unterstützung bei Entscheidungen über den Aufbau strategischer Flexibilitätspotentiale werden von DAMISCH Möglichkeiten der Anwendung des Realloptionsansatzes vorgestellt.²⁷⁴ Grundlage der Anwendung des Realloptionsansatzes ist der Gedanke der Versicherung gegen zukünftige Änderungen, der mit dem Aufbau von Flexibilitätspotentialen einhergeht.²⁷⁵ Realloptionen stellen ein Bündel von Handlungsoptionen respektive Handlungsalternativen und damit einen Handlungsspielraum dar, der dem Produktionsbereich durch eine Investition zur Verfügung gestellt werden kann. Die drei konstituierenden Merkmale von Finanz- und Realloptionen finden sich bei Entscheidungen über den Aufbau von Flexibilitätspotentialen wieder, wie im Folgenden in Anlehnung an eine mehrstufige Investitionsentscheidung skizziert werden soll.²⁷⁶ Zunächst existiert Flexibilität bezüglich der Ausübungsentscheidung, indem ein Durchführungsrecht, jedoch keine Durchführungsverpflichtung bezüglich einer Folgeinvestition besteht. Als Zweites besteht Unsicherheit über die Wertentwicklung der Investition in Flexibilität, die sich im Zeitverlauf auflöst. So ist nicht klar vorhersagbar, welcher zusätzliche Cash Flow sich durch Ausnutzung der Investitionsgelegenheit generieren lässt. Als Drittes ist die getroffene Ausübungsentscheidung irreversibel. So kann die erschlossene Möglichkeit der Folgeinvestition ebenso wie die Investition selbst vollständig rückgängig gemacht werden.

Ohne Erarbeitung eines geschlossenen Gestaltungskonzeptes stellen HORVATH/MAIER eine Maßzahl zur Messung von Flexibilität vor.²⁷⁷ Sie betrachten einen, künftigen Gestaltungsmaßnahmen zugrunde liegenden, konkreten Flexibilitätsbedarf. Mögliche Handlungsalternativen, um diesen Flexibilitätsbedarf zu decken, bewerten sie mit einem Flexibilitätsquotienten, der sich aus dem Produkt der Quotienten von erreichbarem und bedarfsgerechtem Handlungsspielraum sowie der bedarfsgerechten und erreichbaren Änderungszeit ergibt.

Ein von DORMAYER vorgestellter Ansatz zielt auf die Ermittlung von Flexibilitätsbedarf aufgrund von Konjunkturprognosen der Nachfrage. Dieses methodische Instrumentarium ist vordergründig in die erste Phase des Flexibilitätsmanagementzyklus einzuordnen, in der Frühindikatoren zur Ermittlung langfristigen Flexibilitätsbedarfes aufgestellt werden.

THIELEN entwickelt ein allgemeines Anforderungsprofil für die Gestaltung des Unternehmens.²⁷⁸ Im Ergebnis stellt er die bekannten Flexibilitätsmerkmale den Managementfunktionen Humanressourcen-, Struktur-, Informations- und strategisches Management in einer Matrix gegenüber. Er entwickelt Anforderungen und Werkzeuge für die einzelnen Managementfunktionen, um die mit den Flexibilitätsmerkmalen verbundenen Flexibilitätsbedarfe zu befriedigen.²⁷⁹

²⁷⁴ Vgl. Damisch, P.N. (2002).

²⁷⁵ Vgl. Kapitel 2.1.3.6.

²⁷⁶ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 165.

²⁷⁷ Vgl. Horvath, P.; Mayer, R. (1986), S. 75; Damisch, P.N. (2002), S. 108.

²⁷⁸ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993).

²⁷⁹ Vgl. Thielen, C.A.L. (1993), S. 251.

3.2.4 Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene

3.2.4.1 Simulationsgestützte Verfahren

Die Diskussion diskreter Simulationsmodelle und der Vorteilhaftigkeit deren Einsatzes wird heute in der Produktionswissenschaft unter dem Namen der Digitalen Fabrik diskutiert. Es existieren Simulationsmodelle in Form des i-plant-table, die körperliche Imitate realer Systeme sind. Ebenso können mit der vielseitigen Anwendungssoftware zur grafischen Fabrikplanung Modelle erzeugt werden, die symbolische Repräsentationen realer Systeme sind. Gegenüber mathematischen oder schematischen Modellen sind Simulationsmodelle ungleich anschaulicher, jedoch andererseits auch bedeutend unflexibler.²⁸⁰

Ausgangspunkt für Änderungen des Produktionssystems und damit für die Migration alternativer Produktionsstrukturen ist bei MÖßMER das Vorliegen von Störungen oder Änderungsplänen.²⁸¹ Störungen charakterisieren die interne Dynamik und erfordern eine reaktive Anpassung. Änderungspläne hingegen resultieren aus der Kopplung der Unternehmensleitung mit dem Absatzmarkt, charakterisieren damit die externe Dynamik und rufen proaktive Anpassungsmaßnahmen hervor. Veränderungsbedarf und der damit notwendige Aufbau von Flexibilitätspotential resultiert aus Disparitäten zwischen dem vorhandenen Zustand und dem Zielzustand des Produktionssystems. Sind die Auswirkungen der Dynamik unbekannt, empfiehlt MÖßMER eine Analyse der Konsequenzen durch Erstellung eines Simulationsmodells.²⁸² Der in dieser Form erfolgten Problemdefinition schließt MÖßMER die Beschreibung sinnvoller Migrationsstrategien an, um realisierbare Alternativen für Systemübergänge auszuwählen.²⁸³ Die Auswahl der Vorzugsalternative erfolgt durch Bewertung der realisierbaren Alternativen mit Hilfe eines diskreten Simulationsmodells. Kennzeichnend für die Untersuchung ist, dass der taktischen Ebene nach der simulativen Bewertung der Szenarien ein bestimmtes Flexibilitätspotential²⁸⁴ in Form eines Maßnahmenkataloges zur Verfügung gestellt wird.²⁸⁵ Es werden Maßnahmen definiert, welche die taktische Ebene in die Lage versetzen, auftretenden Störungen zu begegnen.²⁸⁶

Auch KOBYLKA nutzt als methodische Unterstützung für die Planung eines Produktionssystems die diskrete Simulation. Ausgangspunkt der Untersuchung ist die Ermittlung des Flexibilitätsbedarfes aufgrund der Produktnachfrage über die Zeit für einen bestimmten Fertigungsbereich. Auch das Durchlaufzeitziel sowie der bestehende strukturelle Aufbau des Bereiches werden als vorausgesetzt angenommen.²⁸⁷ Das Verfahren basiert auf einer sukzessiven Einschränkung der Anzahl an Potentialfaktoren, die notwendig sind, um die definierten Ziele zu erreichen. Dazu wird die Leistung des Produktionssystems mit unterschiedlicher Anzahl an fest

²⁸⁰ Vgl. Strohhecker, J. (1998), S. 96, 97.

²⁸¹ Vgl. Mößmer, H.E. (1999), S. 81.

²⁸² Vgl. Mößmer, H.E. (1999), S. 85.

²⁸³ Vgl. Mößmer, H.E. (1999), S. 80.

²⁸⁴ MÖßMER spricht vom Handlungsspielraum, subsummiert darunter jedoch alle Elemente des in dieser Arbeit definierten Flexibilitätspotentials. [Vgl. Mößmer, H.E. (1999), S. 90.]

²⁸⁵ Vgl. Mößmer, H.E. (1999), S. 90.

²⁸⁶ Vgl. Mößmer, H.E. (1999), S. 100

²⁸⁷ Vgl. Kobylka, A. (2000), S. 37-39, S. 50.

vorhandenen und variablen Potentialfaktoren durch Simulationsszenarien ermittelt. Im Ergebnis kann die Anzahl notwendiger statischer und dynamischer Potentialfaktoren an die Layoutplanung übergeben werden.²⁸⁸

SKUDELNY verkleinert die Anzahl der notwendigen Simulationsstudien zur Auswahl der optimalen Alternative durch Integration einer Optimierungsstufe.²⁸⁹ Innerhalb dieser werden dynamische Fertigungskennwerte-Paare durch wenige Simulationsläufe ermittelt. Dazu wird jeweils ein Fertigungskennwert innerhalb des Simulationsmodells variiert. Die Auswirkungen auf andere Fertigungskennwerte werden im System dokumentiert und erlauben die Erstellung von qualitativen Kennlinien. Mit den erstellten Kennlinien können die funktionalen Zusammenhänge zwischen produktionswirtschaftlichen Kennzahlen dargestellt werden.²⁹⁰ Neben Kostenfaktoren und neben Gewichtungsfaktoren, die sich aus den strategischen Unternehmenszielen ergeben, finden sich die ermittelten Funktionalzusammenhänge in einer Zielfunktion²⁹¹, die sich mit bekannten Methoden des Operations-Research, wie dem Simplex-Algorithmus, lösen lässt.²⁹²

SCHUH/WEMHÖNER/KAMPKER stellen mit der Methodik LicoPro einen Werkzeugentwurf vor, welcher die Gestaltung des Produktionssystems in der Form unterstützt, dass notwendige spätere Anpassungen des Produktionssystems schon bei der Entscheidung über die Erstinvestition berücksichtigt werden.²⁹³ Im Ansatz wird ein Strategiemodul zur Verfügung gestellt, welches Marktentwicklungen in Szenarios überführt. In einem Konfigurationsmodul werden alternative Produktionssysteme konfiguriert. Anschließend werden Kombinationen zwischen Marktszenarios und Produktionssystemkonfigurationen in einem iterativen Optimierungsprozess mittels Simulation oder numerischer Kalkulation bewertet.²⁹⁴ Zur Bewertung der Flexibilität von Produktionssystemen werden die Kennzahlen „net present value“, „averaged net present value“ und „value at risk“ vorgeschlagen.²⁹⁵ Der „net present value“ ist eine finanzielle Kennzahl, die sich daraus ergibt, dass die mit der Umsetzung einer bestimmten Gestaltungsalternative verbundenen Einzahlungen und Auszahlungen auf den aktuellen Zeitpunkt abgezinst werden. Werden die Kapitalwerte unterschiedlicher Szenarien entsprechend der Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens gewichtet und zusammengefasst, ergibt sich der „averaged net present value“, der durchschnittliche Kapitalwert. Der „value at risk“ ist der finanzielle Wert eines möglichen Verlustes. Er beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit und innerhalb welchen Betrachtungshorizonts ein Verlust eine bestimmte Höhe nicht überschreiten wird. Der Einsatz des „value at risk“ wird kritisiert, weil der Wert mögliche Gewinne nicht berücksichtigt und den größten möglichen Verlust nicht quantifiziert.²⁹⁶ Die Autoren betonen, dass die Vorgehensweise darauf basiert, eine Vielzahl von Szenarien zu generieren, um Willkür bei der Wahl der Planungsgrundlagen zu vermeiden.²⁹⁷ Variable Eingangsgrößen für die

²⁸⁸ Vgl. Kobylka, A. (2000), S. 102-106.

²⁸⁹ Vgl. Skudelny, Ch. (1994), S. 105.

²⁹⁰ Vgl. Skudelny, Ch. (1994), S. 115-117.

²⁹¹ Vgl. Skudelny, Ch. (1994), S. 117, 118.

²⁹² Vgl. Skudelny, Ch. (1994), S. 121-126.

²⁹³ Vgl. Schuh, G.; Wemhöner, A.; Kampker, A. (2004).

²⁹⁴ Vgl. Schuh, G.; Wemhöner, A.; Kampker, A. (2004), S. 119.

²⁹⁵ Vgl. Schuh, G.; Wemhöner, A.; Kampker, A. (2004), S. 119, 120.

²⁹⁶ Vgl. Schuh, G.; Wemhöner, A.; Kampker, A. (2004), S. 120.

²⁹⁷ Vgl. Schuh, G.; Wemhöner, A.; Kampker, A. (2004), S. 118.

Bewertung der Planungsalternativen sind Informationen über die Marktnachfrage und über vorliegende Produktionsressourcen.

Den vorgestellten Lösungsansätzen gemein ist der Regelkreischarakter in der Vorgehensweise.²⁹⁸ Grundlegendes Element ist in allen Arbeiten der in Abbildung 19 dargestellt zweistufige Regelkreis. Es wird jeweils auf übergeordneter Ebene, über sequentielle Simulationsläufe nach einem Optimum bezüglich der Dimension und Struktur des Produktionssystems gesucht. Dieses soll das für die Problemstellung passende Flexibilitätspotential beinhalten. Dieser Regelkreis wird in der Abbildung als Prozessregelung II bezeichnet. Der innere, untergeordnete Regelkreis I beschreibt die Arbeit des Produktionssystems unter Einsatz des vorhandenen Flexibilitätspotentials.

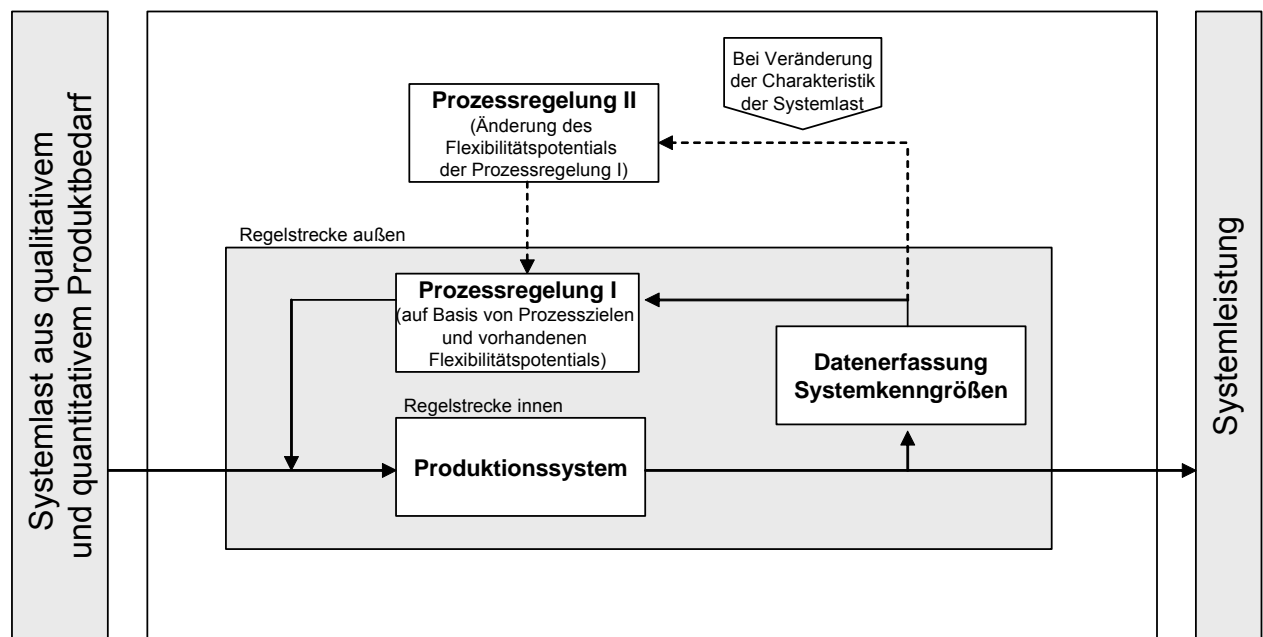


Abbildung 19: Flexibilitätspotentialplanung durch Nutzung von Simulationsmodellen²⁹⁹

In den Simulationsszenarien wird jeweils eine Alternative der möglichen Systemgestaltung abgebildet. Die Änderungen, die im Systemmodell vorgenommen werden, betreffen nicht nur die Systemstruktur und die Dimensionen der Potentialfaktoren. Auch die Fertigungssteuerung kann simuliert werden. Neben der manuellen Steuerung, bei der der Planer im Ablauf der Simulation bei jeder Entscheidungsmöglichkeit oder für jede Parameteränderung ins System eingreifen muss, gibt es weitere Steuerungsmöglichkeiten.³⁰⁰ So sind beispielsweise grundlegende Prinzipien der Fertigungssteuerung, wie beispielsweise die Prioritätsregeln zur Reihenfolgebestimmung bei der Maschinenbelegung³⁰¹, in vielen Simulationssystemen schon vordefiniert und als Bausteine nutzbar. Alternativ ist es möglich, die externe Steuerung in das Simulationssystem einzubinden oder spezifisch konfigurierte Steuerungen durch Entscheidungstabellen zu nutzen.

²⁹⁸ Vgl. Mößmer, H.E. (1999), S. 88; Kobylka, A. (2000), S. 78; Skudelny, Ch. (1994), S. 69; Schuh, G.; Wemhöner, A.; Kampker, A. (2004), S. 118.

²⁹⁹ In Anlehnung an Kobylka, A. (2000), S. 78.

³⁰⁰ Vgl. im Folgenden Kobylka, A. (2000), S. 85.

³⁰¹ Vgl. hierzu Hoitsch, H.-J. (1993), S. 480.

Für die Integration von Steuerungen, die darüber hinaus in der Lage sind, auch Rückkopplungsbeziehungen und qualitative Argumente der Akteure im System abzubilden, ist die kontinuierliche Simulation eine geeignete methodische Herangehensweise.³⁰² NAGEL entwickelt in ihrer Arbeit einen konzeptionellen Rahmen für Flexibilität, der in einem integrierten Drei-Phasen-Modell mündet³⁰³. Danach entwickelt sie für ein Fallbeispiel ein kontinuierliches Systemmodell, das mittels umfangreicher Sensitivitätsanalysen ausgewertet wird.³⁰⁴

3.2.4.2 Nutzwertanalytische Verfahren

Auch auf taktischer Ebene empfiehlt WILDEMANN den Einsatz einer Argumenten-Bilanz, um eine optimale Anpassung neu einzuführender Systeme an betriebsspezifische Erfordernisse zu gewährleisten, damit eine höchstmögliche technische Zielerfüllung möglich ist.³⁰⁵ Dazu werden zunächst unterschiedliche Planungsalternativen gegenübergestellt. Mittels einer Nutzwertanalyse werden die technischen, ökonomischen und sozialen Wirkungen der Planungsalternativen bewertet. In der Bewertung lassen sich insbesondere indirekte Wirkungen, die in verschiedenen Subsystemen des Unternehmens zur Geltung kommen und die über die Nutzungsdauer der FFS hinausgehen, vielfach jedoch außerordentlich schwer quantifizieren. Durch Nutzung der Argumentenbilanz finden Einflussgrößen, wie eine verbesserte Produktqualität, die Mitarbeiterausbildung oder das aus nicht abgestimmten Kapazitäten resultierende Risiko von Lieferengpässen ihren Eingang in die Untersuchung.³⁰⁶

SCHUH/GULDEN/WEMHÖNER/KAMPKER skizzieren zur Flexibilitätsbewertung von Produktionssystemen ein Kennzahlensystem, mit dem die Bewertung von Stückzahl-, Varianten- und Produktänderungsflexibilität möglich werden soll.³⁰⁷ Auch hier werden durch den Planer unterschiedliche Produktionssystemkonfigurationen entwickelt, welche den Anforderungen, mit denen das Produktionssystem möglicherweise konfrontiert wird, gerecht werden sollen.³⁰⁸ Das Produktionssystem wird objektorientiert und statisch modelliert.³⁰⁹ Es wird eine Bewertung der Flexibilität auf unterschiedlichen Aggregationsebenen, wie Linie, Segment, Fabrik oder Netzwerk, angestrebt.

HALLER stellt an das operative Produktionssystem die Anforderung, ein Flexibilitätspotential zu besitzen, welches kurzfristig Stabilität und Robustheit und langfristig Anpassbarkeit und Integrierbarkeit der betreffenden Bereiche und Ressourcen gewährleistet.³¹⁰ Die unter diesen Globalanforderungen definierten produktionstechnischen Flexibilitätskriterien werden in einem nutzwertanalytischen Vorgehen bewertet.³¹¹ Für die Quantifizierung von Kriterien wie

³⁰² Mehr zu dem Unterschied zwischen kontinuierlichen und diskreten Simulationsverfahren unter Kapitel 4.1.2.2.

³⁰³ Vgl. Nagel, M. (2003), S. 34-36.

³⁰⁴ Vgl. Nagel, M. (2003), S. 53-135.

³⁰⁵ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 161-163.

³⁰⁶ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 162.

³⁰⁷ Vgl. Schuh, G.; Gulden, A.; Wemhöner, N.; Kampker, A. (2004). Der Ansatz beschreibt kein für eine Nutzwertanalyse typisches Vorgehen. Durch eine Gewichtung unterschiedlicher Strategien kommt es diesem jedoch sehr nahe.

³⁰⁸ Vgl. Schuh, G.; Gulden, A.; Wemhöner, N.; Kampker, A. (2004), S. 302.

³⁰⁹ Es wird kein Hinweis hinsichtlich des Aufbaus eines simulationsfähigen Systemmodells gegeben. Vgl. Schuh, G.; Gulden, A.; Wemhöner, N.; Kampker, A. (2004), S. 300.

³¹⁰ Vgl. Haller, M. (1999), S. 110-122.

³¹¹ Vgl. Haller, M. (1999), S. 131-134.

Durchlaufzeit oder die Auswirkung variabler Verfügbarkeiten wird der Einsatz von Ablaufsimulationen empfohlen.³¹²

3.2.4.3 Weitere methodische Ansätze

Ein auf der Theorie unscharfer Mengen basierender Ansatz wird von OST vorgestellt.³¹³ Grundlage der Anwendung des Ansatzes ist die Erkenntnis, dass sich die in einer Fachdiskussion getroffenen Aussagen durch große Unschärfe auszeichnen und eine exakte Quantifizierbarkeit vieler Daten nicht gegeben ist.³¹⁴ Die Untersuchung verfolgt das Ziel, methodische Unterstützung bei der Auswahl der wirtschaftlichsten Planungsalternative mit einem geeigneten Flexibilitätsniveau zu geben. Dazu werden die Wirkungszusammenhänge produktionstechnischer Flexibilitätsgrößen quantifiziert und einer Wirtschaftlichkeitsanalyse zugänglich gemacht. Der Vorteil der entwickelten Methode ist gleichzeitig deren Nachteil. So zwingt die streng systematisierte Vorgehensweise zur Bewertung aller die Flexibilität beeinflussenden Faktoren einer Produktionsanlage und damit zu einem umfassenden Blickwinkel bei der Planung. Für jede Bewertung sind sämtliche die Systemfunktionalitäten beschreibenden Kriterien für die einzelnen Stationen aller Anlagen aufzunehmen.³¹⁵ Weiterhin ist kritisch anzumerken, dass die Definition von System- und Subsystemgrenzen im Rahmen des Bewertungsprozesses den Erfahrungen und der Kenntnis der Systemplaner überlassen wird.³¹⁶ Es existieren keine Richtlinien.

WILD entwickelt ein mathematisches Optimierungsmodell, das sich inhaltlich an das allgemeine Flexibilitätsmaß von SCHNEEWEIß anlehnt.³¹⁷ Ziel ist die Messung der Flexibilität von Betriebsvereinbarungen. Das Flexibilitätspotential, das dem Operativsystem für den Potentialfaktor Personal zur Verfügung gestellt wird, wird durch Betriebsvereinbarungen definiert. Innerhalb der entwickelten Vorgehensweise werden Schwankungen der Einflussgrößen Mitbestimmungsverhalten, Personalstärke, Ausgleichszeitraum, Fixierungszeitraum und Ankündigungsfrist berücksichtigt.

Einen Ansatz, der allein auf die Flexibilitätseigenschaft der Mobilität des Produktionssystems abstellt, wird von LANGE-STALINSKI entwickelt.³¹⁸ Ziel ist die Bestimmung der Mobilitätsanforderungen an einzelne Elemente des Produktionssystems. Dazu werden Nutzwertanalysen durchgeführt und die Methode des „House of Quality“ aus dem Qualitätsmanagement wird auf die Mobilitätsüberlegungen übertragen.

Daneben existieren zahlreiche Ansätze, die für die hochkomplexe simultane Programm-, Faktor- und Prozessplanung im Produktionsbereich lineare mathematische Optimierungsmodelle für eine gemischt-ganzzahlige Optimierung aufstellen, um einen geeigneten Handlungsspielraum für die operative Ebene auszuwählen.³¹⁹

³¹² Vgl. Haller, M. (1999), S. 114.

³¹³ Vgl. Ost, S. (1993).

³¹⁴ Vgl. Ost, S. (1993), S. 20, 21.

³¹⁵ Vgl. Ost, S. (1993), S. 54, 55, 119.

³¹⁶ Vgl. Ost, S. (1993), S. 119.

³¹⁷ Vgl. Wild, B. (1995).

³¹⁸ Vgl. Lange-Stalinski, Th. (2003).

³¹⁹ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 160 und die dort angegebene Literatur; Vgl. Fleischmann, B. (1996), Sp. 1362, 1363.
Diese Ansätze werden nicht explizit damit überschrieben, einen Beitrag zur Flexibilitätsgestaltung zu liefern,

3.2.5 Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung auf operativer Ebene

In der Literatur werden für die operative Ebene kaum Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung vorgestellt, die auf eine Änderung des bestehenden Flexibilitätspotentials des Ausführungssystems abzielen. Oft beschränkt sich der Umgang mit Flexibilität auf operativer Ebene mit der Auswahl der Alternativen aus dem gegebenen Handlungsspielraum, die das Ausführungssystem in die Lage versetzen, den Transformationsprozess so durchzuführen, dass den Zielstellungen des operativen Produktionsmanagements entsprochen wird.³²⁰

Zunächst existieren zahlreiche theoretische Ansätze zur Optimierung der operativen Produktionsplanung und -steuerung im Operations Research mit dem Ziel einer optimalen Programm-, Losgrößen- und Reihenfolgeplanung. Die Ansätze beschreiben den Umgang mit dem durch die taktische Ebene zur Verfügung gestellten Flexibilitätspotential auf operativer Ebene.

Ebenso existieren neben den gängigen Hilfsmitteln der Produktionsplanung in Form von PPS-Systemen, die einem Sukzessivplanungskonzept folgend für alle Produktionssegmente einheitlich planen³²¹, MES (Manufacturing Execution Systems), die durch eine unmittelbare Betriebsdatenerfassung und -verarbeitung eine stärkere Bindung zwischen Produktionsdurchführung und kommerzieller Auftragsbearbeitung anstreben³²² und APS (Advanced Planning Systems)³²³, bei denen zur Optimierung der gesamten Wertschöpfungskette neueste Methoden und Technologien eingesetzt werden.

Bestehende Formen der Auswahl von Handlungsalternativen für das Ausführungssystem sind kritisch zu beurteilen. So haben sich die Entscheidungsmodelle des Operations Research in der Praxis nur begrenzt durchgesetzt, weil sie bezüglich der Informationsverarbeitung aufwendig zu pflegen sind. Die Entscheidungsmodelle werden deshalb einerseits zunehmend durch Ermittlungsmodelle ersetzt, welche die Auswirkungen alternativer Produktionsprogramme auf das Perioden-Betriebsergebnis mit Hilfe von Simulationen errechnen.³²⁴ Andererseits arbeiten viele PPS-Systeme mit Heuristiken.³²⁵ Neben der mangelnden Kenntnis der Verfahren der linearen Optimierung und der unzureichenden Softwareunterstützung in den gängigen PPS-Systemen liegt die Ursache dafür in der schnellen Veralterung von Informationen des Produktionsplanungssystems, die kein Relikt vergangener Zeiten ist.³²⁶ Vielmehr ist parallel zur Weiterentwicklung der Rechnertechnik und der Softwareanwendungen zur Produktionsplanung und -kontrolle eine steigende Marktdynamik zu konstatieren, welche dieses Problem aktuell bleiben lässt.³²⁷ Die Antwort auf veraltete Informationen des Produktionsplanungssystems, sind

verfolgen jedoch das Ziel, eine Bereitstellung von Flexibilitätspotentialen unter Berücksichtigung externer Rahmenbedingungen zu gewährleisten.

³²⁰ Vgl. die Ausführungen zum flexibilitätsorientierten Projektionsmodell im Kapitel 2.2.2.

³²¹ Vgl. den hierarchischen Aufbau von Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen in Kapitel 2.2.1.4.

³²² Vgl. dazu beispielsweise Milberg, J.; Burger, C.; Zetlmayer, H (1992).

³²³ Vgl. dazu im Einzelnen Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2003), S. 326-338.

³²⁴ Vgl. Hoitsch (1996), S. 330. Dabei basieren Kosten- und Betriebsmodelle auf linear-limitationalen Produktionsfunktionen. Bei den Erlös- und Absatzmodellen wird von linearen Preis-Absatz-Funktionen ausgegangen. Weitere Annahmen sind konstante Produktionsprozessparameter und ein gegebener Potentialfaktorbestand. Variabel sind Input- und Outputfaktorpreise sowie das Produktionsprogramm.

³²⁵ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 269, 389.

³²⁶ Vgl. Wiendahl, H.-P. (1997), S. 8.

³²⁷ Vgl. Westkämper, E.; Wiendahl, H.-H.; Pritschkow, G.; Rempp, B.; Schanz, M. (2000).

informelle Steuerungssysteme auf Meisterebene, die zum Beispiel zu Reihenfolgevertauschungen von Aufträgen führen.

Einen Ansatz, der die systematische Weitergabe von Störungsinformationen aus dem Ausführungssystem an übergeordnete Ebenen methodisch aufarbeitet, stellt MÖßMER vor.³²⁸ Produktionszielgefährdende Störungen werden hier systematisch erfasst und ihre Konsequenzen werden durch Abbildung der Problemsituation in einem Simulationsmodell analysiert. Danach werden die Handlungsspielräume der operativen Ebene durch die Bereitstellung von Maßnahmeplänen systematisch erneuert oder erweitert. Es wird das Ziel verfolgt, das Flexibilitätspotential der operativen Ebene so zu erhöhen, dass dem identifizierten Flexibilitätsbedarf entsprochen werden kann.

³²⁸ Vgl. Mößmer, H.E. (1999). Dem gleichen Gedanken folgen MILBERG/BURGER/ZETLMAYER (1992), Vgl. Milberg, J.; Burger, C.; Zetlmayer, H (1992), S. 145. Diese Form der Flexibilitätsbedarfsermittlung wurde als indirekte Bedarfsermittlung vorgestellt. [Vgl. Kapitel 3.2.1]

3.3 Würdigung bestehender Ansätze zur Flexibilitätsgestaltung

3.3.1 Nutzung von Bewertungskriterien

Bei der Bewertung der bestehenden Ansätze soll auf die Elemente des Flexibilitätsmanagementzyklus aufgesetzt werden.³²⁹ Der vorgestellte Flexibilitätsmanagementzyklus findet sich auf allen hierarchischen Ebenen des Unternehmens, so dass für die Bewertung der für die einzelnen Ebenen angebotenen Methoden dieselben Bewertungskriterien genutzt werden können. Auf strategischer und operativer Ebene ist vorrangig der Beitrag von Interesse, der für die Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene geleistet wird.³³⁰

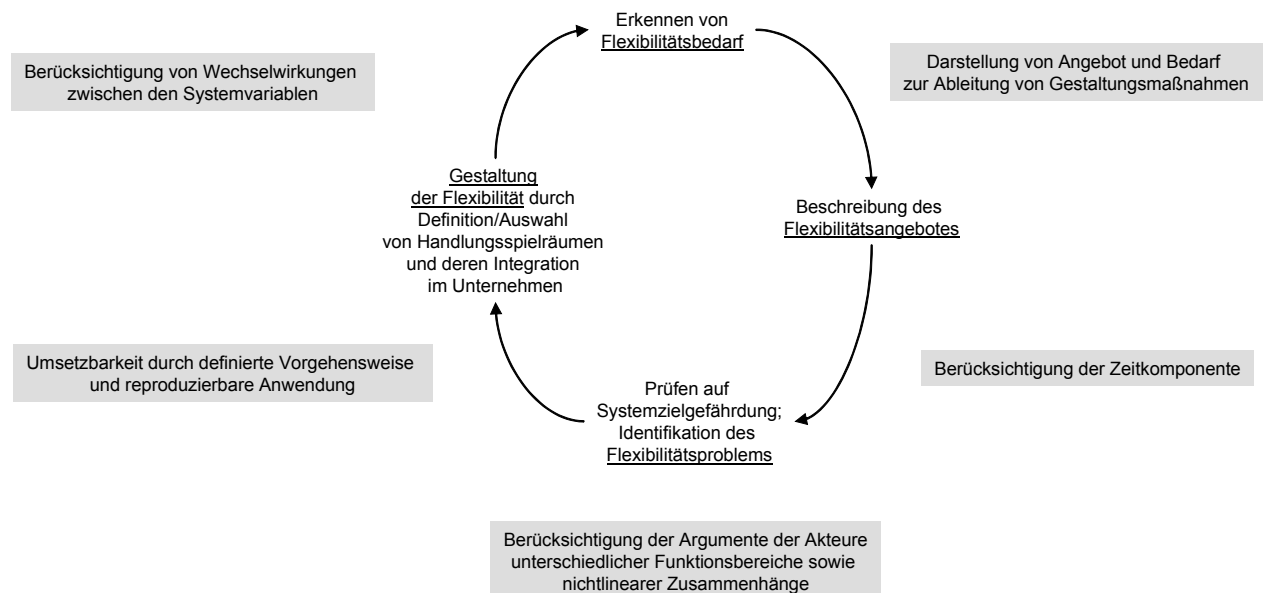


Abbildung 20: Kriterien zur Bewertung bestehender Ansätze³³¹

Zunächst ist innerhalb des Zyklus Flexibilitätsbedarf zu erkennen oder zu prognostizieren. Aus der Gegenüberstellung des Bedarfes mit dem Angebot ergeben sich bei Vorhandensein von Spannungen Flexibilitätsprobleme, die notwendigen Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen zugrunde liegen. Erstes Bewertungskriterium ist das Vorhandensein und die Praktikabilität der angebotenen Instrumentarien zur Darstellung von Flexibilitätsbedarf und -angebot.

Die Gegenüberstellung von Flexibilitätsbedarf und -angebot kann unter Berücksichtigung der Änderung von Parametern im Zeitverlauf erfolgen oder eine Zeitpunktuntersuchung sein. Ein Resultat des dynamischen Charakters von Flexibilität sind zeitliche Interdependenzen, die sich darin äußern, dass Entscheidungen über die Änderung von Flexibilitätspotentialen Auswirkungen

³²⁹ Vgl. Kapitel 3.1.1.

³³⁰ Vgl. hierzu insbesondere die Ausführungen zu Möglichkeiten und Relevanz der Identifikation von Flexibilitätsbedarf auf strategischer und operativer Ebene in Kapitel 3.2.1.

³³¹ Eigene Darstellung.

auf die Erfolge in späteren Perioden haben.³³² Die Darstellung der Entwicklung des bereitzustellenden Flexibilitätsniveaus über die Zeit trägt dem dynamischen Charakter des Prozesses der Flexibilitätsgestaltung Rechnung und ist deshalb weiteres Bewertungskriterium.

Im nächsten Schritt innerhalb des Flexibilitätsmanagementzyklus ist zu prüfen, an welchen Stellen Flexibilitätsbedarf und –angebot zu zielgefährdenden Systemverhaltensweisen führt. Die methodische Unterstützung sollte an dieser Stelle sicherstellen, dass die Rahmenbedingungen und Argumente der Akteure aus den an den Produktionsbereich angrenzenden Unternehmensfunktionen berücksichtigt werden. Deren Berücksichtigung setzt auf der im Projektionsmodell des Flexibilitätsmanagements erarbeiteten Erkenntnis auf, dass bei der Gestaltung von Flexibilität im Produktionsbereich die Interaktionen zu angrenzenden Unternehmensfunktionen zu beachten ist.

Die Frage nach der Umsetzbarkeit vorgestellter Ansätze, wird durch Prüfung des Vorhandenseins einer definierten Vorgehensweise und deren Reproduzierbarkeit beantwortet. Die Nutzung von Handlungsspielräumen erzeugt ein bestimmtes Systemverhalten. Dabei treten Wechselwirkungen zwischen den Systemvariablen auf. Es ist zu prüfen, ob diese Wechselwirkungen beim Aufbau der Handlungsspielräume berücksichtigt werden.

3.3.2 Hierarchiebezogene Bewertung bestehender Ansätze

3.3.2.1 Flexibilitätsgestaltung auf strategischer Ebene

Der Einsatz von Flexibilitätsprofilen zur Bewertung von Flexibilitätsangebot und –bedarf setzt voraus, dass die Herausforderungen bezüglich einer geeigneten Systemabgrenzung und der Auswahl geeigneter Bewertungskriterien bewältigt wurden. Vorhandene Ansätze lassen hier keine Hinweise auf anwendbare Lösungen erkennen. Der Aufbau von Flexibilitätsprofilen setzt einerseits direkt auf dem vorhandenen wissenschaftstheoretischen Verständnis von Flexibilität auf, vernachlässigt jedoch andererseits die Zeitkomponente und erlaubt keine Abgabe von Gestaltungsempfehlungen. Ein unmittelbarer Anwendungsbezug kann mit den allgemeinen Handlungsempfehlungen gleichenden methodischen Hilfsmitteln nicht hergestellt werden.

Die im Ansatz von THIELEN erarbeiteten Anforderungen und Werkzeuge tragen den Charakter von Verhaltensregulativen, die nicht aus einer strukturierten Untersuchung von Flexibilitätsbedarf und vorhandenem Flexibilitätspotential bezüglich einer definierten Problemstellung resultieren. Vielmehr geben sie allgemeine Hinweise zum Aufbau einer flexiblen Unternehmensorganisation. Elemente des von THIELEN aufgestellten Anforderungskonzeptes finden sich in Form von Verhaltensregulativen für die Gestaltung des Unternehmens in der oft dokumentierten Unternehmenskultur.

Die Vorgehensweise des Aufstellens von Technologieportfolios, eines Technologiekalenders und einer Argumenten-Bilanz eröffnet die Möglichkeit einer präzisen Definition des Handlungsspielraumes für die taktische Ebene. Dabei werden die Zeitkomponente sowie die Argumente der Akteure anderer Funktionsbereiche berücksichtigt. Die notwendigen Änderungen

³³² Vgl. Janssen, H. (1997), S. 42 sowie die Ausführungen zum Merkmal der Handlungszeit in Kapitel 2.1.3.3.

des Produktionssystems aufgrund externer Dynamik werden dargestellt. Die Auswirkungen auf andere Funktionsbereiche des Unternehmens, wie beispielsweise auf den Personalbereich, werden ausgehend von eingesetzter Technologie und prognostizierter Nachfrage ohne nachhaltige Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Funktionsbereichen linear abgeleitet. Durch Festlegung von Investitionsvolumina und dem notwendigen Personalbedarf wird auf diese Weise der Handlungsspielraum für die taktische Ebene vorgegeben.³³³

Der Einsatz von Simulationsmodellen bei der Festlegung des notwendigen Flexibilitätspotentials auf strategischer Ebene ermöglicht mit Blick auf die bisherigen Arbeiten ein tieferes Verständnis für die Systemveränderungen zugrunde liegende Wirkungszusammenhänge. Die erarbeiteten Simulationsanwendungen auf strategischer Ebene dienen dazu, den Umgang mit Flexibilität im Sinne eines Verhaltensregulativs zu unterstützen. Sie sind ein geeignetes methodisches Hilfsmittel, um durch Erklärungsmodelle das Problemverständnis zu fördern und die Handlungsbereitschaft im Sinne von „Können“ im Umgang mit Flexibilität im Unternehmen zu erhöhen, so dass der taktischen Ebene geeignete Handlungsspielräume zur Verfügung gestellt werden können. In Praxi finden sich diese Erklärungs- und Lernmodelle beispielsweise in Schulungen zum vernetzten Denken.

Bei der Anwendung des Realloptionsansatzes bedient man sich nur beschränkt des methodischen Instrumentariums der Flexibilitätstheorie. Die Bewertung von Handlungsoptionen ist inhärentes Merkmal des Ansatzes. Zur Identifikation von Interaktionen zu anderen durch Investitionsentscheidungen beeinflussten Erfolgsfaktoren wird eine Baumstruktur vorgeschlagen³³⁴, wobei jedoch nur Einflüsse, die aus der Reihenfolge der Investitionsentscheidungen resultieren, berücksichtigt werden.³³⁵

Portfoliotechniken, wie die von WILDEMANN vorgestellten Instrumentarien sind unmittelbar umsetzbar und werden genutzt, um Handlungsspielräume auszuwählen und der taktischen Ebene ein geeignetes Flexibilitätspotential bereitzustellen. Dabei werden die Zeitkomponente sowie die Argumente der Akteure unterschiedlicher Funktionsbereiche des Unternehmens berücksichtigt.

3.3.2.2 Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene

In allen vorgestellten Ansätzen, in denen Simulationsmodelle genutzt werden, wird in einem diskreten Simulationsmodell jeweils genau eine Handlungsalternative abgebildet und bezüglich der Erfüllung des vorgegebenen Flexibilitätsbedarfs getestet.³³⁶ Die Abbildung der Auswirkungen von Schwankungen der nachgefragten Produkte nach Menge und Art auf das Produktionssystem bei unterschiedlichen Systemkonstellationen einerseits³³⁷ oder von Störungen andererseits³³⁸ soll die Auswahl einer Vorzugsalternative erlauben. Diese soll ein Verhalten zeigen, welches dem Umweltverhalten angemessen ist. Die Zeitkomponente wird durch den Einsatz simulationsfähiger Modelle in jedem Fall berücksichtigt. Keine Berücksichtigung finden in der

³³³ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 83-85.

³³⁴ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 292.

³³⁵ Vgl. Damisch, P.N. (2002), S. 292, 258-274.

³³⁶ Vgl. Kapitel 3.2.4.1.

³³⁷ Vgl. die vorgestellte Vorgehensweise von Kobylka, A. (2000) in Kapitel 3.2.4.1.

³³⁸ Vgl. die vorgestellte Vorgehensweise von Mößmer, H.E. (1999) in Kapitel 3.2.4.1.

Regel die Argumente der Akteure angrenzender Bereiche. Ebenso erfolgt regelmäßig nur eine detaillierte Abbildung des Ausführungssystems und seiner Steuerungsmechanismen. Der Umgang mit Handlungsspielräumen, welche die taktische Ebene der operativen Ebene vorgibt, findet keinen Eingang in die Untersuchung. Auf diese Weise wird das notwendige Anpassungsverhalten als Reaktion auf auftretende interne und externe Dynamik nicht abgebildet.

Im vorliegenden Ansatz von NAGEL wird anhand einer Problemstellung, die sich auf taktischer Ebene einordnen lässt, die Entwicklung einer simulationsgestützten Vorgehensweise für das Management von Flexibilität angestrebt. Der Bezug zum Gedankengebäude des Flexibilitätsmanagements wurde nur mittelbar hergestellt, so dass am Ende der Untersuchung als Forschungsaufgabe definiert wird, die Übertragbarkeit der methodischen Herangehensweise auf andere Flexibilitätstatbestände zu prüfen.³³⁹

Die streng systematisierte Vorgehensweise der von OST entwickelten Methode, die auf der Theorie unscharfer Mengen basiert, zwingt zu einer nicht immer notwendigen Bewertung aller die Flexibilität beeinflussenden Faktoren einer Produktionsanlage.

Nutzwertanalytische Verfahren und der Einsatz der Argumenten-Bilanz sind methodisch praktikable Instrumente zur Wahl einer vorteilhaften Alternative bezüglich des Aufbaus von Flexibilitätspotential.³⁴⁰ Die Zeitdimension und vorhandene dynamische Wechselwirkungen zwischen den Systemvariablen werden jedoch nicht berücksichtigt. Darüber hinaus findet die ausschließliche Betrachtung des Produktionsbereiches statt, ohne dass die Argumente der Akteure anderer betrieblicher Funktionsbereiche berücksichtigt werden.

Der von LANGE-STALINSKI vorgestellte Ansatz beinhaltet eine umsetzbare methodische Vorgehensweise. Diese stellt jedoch allein auf das notwendige Flexibilitätspotential betrieblicher Potentialfaktoren bezüglich deren Mobilität ab. Die Bewertung der Mobilität integriert die Bewertung von Flexibilitätsmerkmalen wie Handlungszeit und Handlungskosten. Sie ist jedoch nur eine unter vielen Möglichkeiten, Flexibilitätsangebot zu erzeugen. Die Möglichkeit einer Übertragung der Methode auf andere Flexibilitätsarten wird nicht geprüft.

Die Erstellung von Optimierungsmodellen zur Bewertung von Flexibilität auf der taktischen Ebene kann sich aufgrund der Vielfalt zu berücksichtigender Variablen nur auf einen Ausschnitt des Produktionsbereiches beschränken. Es wäre deshalb einerseits zu prüfen, inwieweit eine Übertragbarkeit des von WILD vorgestellten Modells zur Bewertung der Flexibilität von Betriebsvereinbarungen auf andere Bereiche durch Modellanpassung möglich ist. Auf der anderen Seite existieren auf Basis objektorientierter Modellbildung Bestrebungen, Flexibilitätsbewertungen auf analytischem Wege vorzunehmen.³⁴¹

3.3.2.3 Flexibilitätsgestaltung auf operativer Ebene

In der wissenschaftlichen Literatur, die sich mit dem Flexibilitätsbegriff auseinandersetzt, finden sich kaum methodengestützte Vorgehensweisen, die sich mit Flexibilitätsgestaltung auf der operativen Ebene befassen. Dies ist vor allem dem Umstand zuzuschreiben, dass der operativen

³³⁹ Vgl. Nagel, M. (2003), S. 137.

³⁴⁰ Vgl. Kapitel 3.2.4.2.

³⁴¹ Vgl. Schuh, G.; Gulden, A.; Wemhöner, N.; Kampker, A. (2004).

Ebene durch die taktische Ebene ein bestimmtes Flexibilitätspotential zur Verfügung gestellt wird, das es zur Leistungserstellung einsetzt.³⁴² Bekannte Methoden des Umgangs der operativen Ebene mit diesem Flexibilitätspotential wurden in dieser Arbeit ebenso vorgestellt wie Möglichkeiten, den aus der operativen Ebene resultierenden Flexibilitätsbedarf, der das vorhandene Flexibilitätspotential übersteigt, zu identifizieren. Diese Identifizierung ist notwendige Eingangsinformation für die Gestaltung der Flexibilität der operativen Ebene durch die taktische Ebene.

3.3.3 Zusammenfassende Würdigung bestehender Ansätze

Im Rahmen der zusammenfassenden Würdigung werden die bisherigen Arbeiten mit allen identifizierten Kriterien bewertet. Auf der strategisch-globaler Ebene finden sich zunächst theorieorientierte Ansätze, welche durch Klassifizierung und Typisierung sowie auf induktivem und deduktivem Wege die Grundlagen für die weitere wissenschaftliche Erforschung des Flexibilitätsphänomens auf Unternehmensebene legen. Die methodische Unterstützung in den einzelnen Phasen des Flexibilitätsmanagementzyklus beschränkt sich auf die Verwendung von Konstrukten. Die Erkenntnisse dieser Arbeiten geben unter anderem die deskriptiven Rahmenbedingungen für methodenbasierte Forschungsarbeiten vor, die auf den einzelnen hierarchischen Ebenen Forschung im Erklärungs- und Gestaltungszusammenhang betreiben.

Weiterhin finden unterschiedliche methodische Ansätze auf strategischer Ebene Anwendung. Den Ansätzen liegen inhaltlich zum überwiegenden Teil die Techniken der Hermeneutik und der Modellierung zu Grunde.³⁴³ Bestehende Methoden werden auf den Untersuchungsgegenstand übertragen und erlauben ein tieferes Verständnis der vorhandenen Aussagen der untersuchten Problemstellung. Trotz der begrenzten unmittelbaren Anwendbarkeit sind sie insbesondere aufgrund ihres Erklärungsgehaltes dazu geeignet, die Flexibilität der Planung auf strategischer Ebene zu erhöhen. WILDEMANNS stellt mit dem Technologiekalender einen Ansatz vor, der Entscheidungsunterstützung bei der Kapitalallokation in flexible Fertigungssysteme gibt, den externen Flexibilitätsbedarf über die Zeit beschreibt und unmittelbare Anwendung finden kann. Die externe Dynamik insbesondere von technologischen Diskontinuitäten wird berücksichtigt. Durch ein strukturiertes Vorgehen kann der taktischen Ebene in Form des Technologiekalenders ein definierter Handlungsspielraum vorgegeben werden.

³⁴² Vgl Kapitel 3.2.5.

³⁴³ Vgl. zu den Techniken wissenschaftlicher Forschung Schweitzer, M. (1996), Sp. 1649, 1651.

Tabelle 7: Würdigung bestehender Ansätze

Autor	Betrachtungsebene	Betrachtungsgegenstand	methodische Unterstützung bei Gegenüberstellung von Flexibilitätsangebot und -bedarf	Darstellung von Bedarf und Angebot zur Ableitung von Gestaltungsmaßnahmen	Berücksichtigung der Zeitkomponente	Berücksichtigung der Argumente der Akteure angrenzender Funktionsbereiche	Umsetzbarkeit durch definierte Vorgehensweise und reproduzierbare Anwendung	Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen den Systemvariablen	Möglichkeit der laufenden Gestaltung von Handlungsspielräumen
Mössner, G.U. (1982); Hillmer, H.-J. (1987); Maier, K. (1982); Janssen, H. (1997); Kaluza, B. (1989); Thielen, C.A.L. (1993)	strategisch-global	Unternehmen	Vorgabe deskriptiver Rahmenbedingungen für die methodenbasierten Arbeiten auf den einzelnen hierarchischen Ebenen						
Danisch, P. N. (2001)	strategisch	Unternehmen	Realloption	o	x	-	o	-	x
Hopfmann, L. (1989); Klaue, Th. (1990)	strategisch	Unternehmen	kontinuierliche Simulation	x	x	x	-	x	x
Dormayer, H.-J. (1986)	strategisch	Unternehmen	Konjunkturprognosen	o	o	-	x	-	x
Wildemann, H. (1987)	strategisch	Produktionsbereich	Technologieportfolio, Technologiekalender und Argumentenbilanz	x	x	x	x	-	-
Kobyłka, A. (2000); Mößner, H.E. (1999); Skudelny, Ch. (1993)	taktisch	Produktionsbereich	diskrete Simulation	x	x	-	x	-	-
Schuh, G.; Wemhöner, N.; Kampker, A. (2004)	taktisch	Produktionsbereich	unterschiedliche Module, diskrete Simulation	x	x	-	x	-	x
Schuh, G.; Gulden, A.; Wemhöner, N.; Kampker, A. (2004)	taktisch	Produktionsbereich	Kennzahlensystem	x	-	-	x	-	x
Nagel, M. (2003)	taktisch	Produktionsbereich	kontinuierliche Simulation	x	x	-	-	x	x
Wildemann (1987); Haller, M. (1999)	taktisch	Produktionsbereich	Argumenten-Bilanz, Nutzwertanalyse von Planungsalternativen	-	-	x	x	-	-
Ost, S. (1993)	taktisch	Produktionsbereich	Theorie unscharfer Mengen	x	-	-	o	o	-
Wild, B. (1995)	taktisch	Potentialfaktor Personal im Produktionsbereich	Optimierungsmodell	x	o	o	o	-	-
Mößner, H. E. (1999)	operativ	Produktionsbereich	Berichtswesen, Simulationsgestützte Störungsbewertung	x	x	-	x	-	x

x erfüllt Beurteilungskriterium voll
o erfüllt Beurteilungskriterium teilweise
- erfüllt Beurteilungskriterium nicht

Auf taktischer Ebene findet sich der größte Teil bestehender Forschungsarbeiten. In mehreren Arbeiten wird für die Flexibilitätsgestaltung auf dieser Ebene die Anwendung diskreter Simulationsverfahren empfohlen. Durch Untersuchung alternativer Produktionssysteme in einem Simulationsmodell soll die Auswahl einer Vorzugsvariante möglich werden, welche den identifizierten Flexibilitätsanforderungen gerecht wird. Allen Ansätzen gemein ist die sukzessive Untersuchung jeweils einer Alternative der Produktionssystemkonfiguration. Dieses Vorgehen ist mit einem hohen Zeitaufwand verbunden, da für jede Produktionssystemkonfiguration und den dadurch abgebildeten Handlungsspielraum ein eigenes Simulationsszenario erstellt werden muss.

Weiterhin wird innerhalb der die diskrete Simulation nutzenden Ansätze nicht berücksichtigt, wie sich das System durch eigenes Verhalten an sich im Zeitverlauf verändernde Rahmenbedingungen anpasst.³⁴⁴ Um dieses Verhalten abbilden zu können, wäre es notwendig, die Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen zu analysieren und die Argumente der Akteure angrenzender Funktionsbereiche zu berücksichtigen. Dies erfolgt in vorhandenen Ansätzen nicht, weil einerseits das methodische Instrumentarium nicht darauf ausgelegt ist und andererseits angenommen wird, dass die durch angrenzende Funktionsbereiche gesetzten Rahmenbedingungen konstant sind. So geht man beispielsweise von einem unveränderlichen Qualifikationsniveau des Personals sowie von einer Konstanz eingesetzter Technologien im Zeitverlauf aus. Simulationsbasierte Ansätze sind positiv zu bewerten, weil mittels eines Simulationsmodells Flexibilitätsbedarf und –angebot sehr gut gegenübergestellt werden können.

Kontinuierliche Simulationen sind in der Lage, vorhandene Interdependenzen zwischen den Systemelementen mit nichtlinearem dynamischem Charakter zu berücksichtigen.³⁴⁵ Sie bauen auf dem Systemansatz auf. Die einzige Arbeit, die sich auf taktischer Ebene dieses methodischen Instrumentariums bedient, zeigt Schwächen bei der Definition einer reproduzierbaren Vorgehensweise zum Ableiten eines geeigneten Handlungsspielraumes. Darüber hinaus berücksichtigt sie kaum die Argumente der Akteure anderer Funktionsbereiche.

Die vorgestellten nutzwertanalytischen Verfahren bieten praktikable Vorgehensweisen an, die insbesondere die Argumente der Akteure angrenzender Funktionsbereiche im Entscheidungsprozess berücksichtigen. Auch hier erfolgt jedoch keine adäquate Berücksichtigung der Änderung von Variablen über die Zeit und der Änderung von Rahmenbedingungen durch angrenzende Bereiche, weil die betrachteten Gestaltungsalternativen zu einem bestimmten Zeitpunkt nebeneinander gestellt und bewertet werden. Die weiteren vorgestellten Ansätze zeigen Schwächen in mehreren der aufgestellten Bewertungskriterien.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Unterstützung der Flexibilitätsgestaltung durch diskrete Simulationen oft empfohlen wird und die entwickelten Verfahren einen Großteil der aufgestellten Bewertungskriterien abdecken. Das Defizit der unzureichenden Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen den Systemvariablen kann durch kontinuierliche Simulationsmodelle behoben werden. Insbesondere nutzwertanalytische, auf

³⁴⁴ Allein KOBYLKA strebt dies an, indem sie das Produktionssystem mit dynamischen, temporären Potentialfaktoren, welche bei Bedarf automatisch aktiviert werden, modelliert und simuliert. Vgl. Kapitel 3.2.4.1.

³⁴⁵ Vgl. Kapitel 4.1.3.1.

Kennzahlen basierende Verfahren berücksichtigen die Argumente der Akteure angrenzender Funktionsbereiche. Vor allem simulationsgestützte Verfahren ermöglichen eine laufende Gestaltung von Handlungsspielräumen. Die vorgestellten Ansätze zur Entscheidungsunterstützung der Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene berücksichtigen jeweils mehrere der gewählten Bewertungskriterien. Eine Vorgehensweise zur Entscheidungsunterstützung der Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene, die alle gewählten Kriterien berücksichtigt, wurde noch nicht entwickelt.

3.3.4 Anforderungen an eine Methodik zum Flexibilitätsmanagement auf taktischer Ebene

Aufgabe von Systemanalysen mit Erklärungsfunktion soll es sein, rationale Handlungsempfehlungen für die Systemgestaltung zu geben.³⁴⁶ Ergebnis soll die Ableitung von Verhaltensregeln sein, die in der Lage sind anzugeben, wie unter bestimmten Verhältnissen zu handeln ist, um die Systemziele zu verfolgen. Dabei sollen keine isolierten Handlungsalternativen betrachtet werden.³⁴⁷ Vielmehr sind Bündel von Handlungsalternativen, also die Gestaltung von Handlungsspielräumen, Untersuchungsgegenstand.

Mit der zu entwickelnden Vorgehensweise ist sicherzustellen, dass Flexibilitätsbedarf und –angebot strukturiert erfasst und einander gegenübergestellt werden. Nur dadurch werden die Voraussetzungen geschaffen, Spannungsverhältnisse zu identifizieren und Flexibilitätsprobleme zu definieren. Die notwendige Integration der Zeitkomponente in die Betrachtung erfordert die Erstellung simulationsfähiger Modelle.³⁴⁸ In bisherigen Lösungsansätzen wurden in diskreten Simulationsmodellen sukzessive unterschiedliche Handlungsalternativen untersucht. Die Integration ganzer Handlungsspielräume, die auch nicht lineare Zusammenhänge, wie Anlauf- und Erfahrungskurven, sowie Rückkopplungen abbilden können, ist anzustreben. Dabei sind die Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen, insbesondere über Schnittstellen unterschiedlicher Funktionsbereiche hinweg, zu berücksichtigen.³⁴⁹ Die indirekten Wirkungen, die in verschiedenen Subsystemen des Unternehmens durch den Aufbau von Flexibilitätspotentialen in der Produktion zur Geltung kommen, sollen auf diese Weise ebenso berücksichtigt werden wie Änderungen von Handlungsspielräumen der Funktionsbereiche, die an den Produktionsbereich angrenzen. Bei der Auswahl des Simulationswerkzeuges ist darauf zu achten, dass einerseits das Ausführungssystem mit dem notwendigen Detaillierungsgrad abgebildet werden kann und andererseits das Verständnis des Systemverhaltens erhöht wird, indem neben der formalen Modellierung auch Ursache-Wirkungsbeziehungen möglichst in grafischer Form abgebildet werden können.³⁵⁰

Bei der Festlegung von Handlungsspielräumen für die operative Ebene, die durch die Erstellung diskreter Simulationsmodelle unterstützt werden, werden die Umweltbedingungen als

³⁴⁶ Vgl. Milling, P. (2002), S. 26.

³⁴⁷ Vgl. Milling, P. (2002) S. 18.

³⁴⁸ Dies wird in Kapitel 4.1.2.1 begründet.

³⁴⁹ Der Unterschied zwischen diskreten und kontinuierlichen Simulationsmodellen sowie deren problemorientierter Einsatz wird in den Kapiteln 4.1.2.2 und 4.1.3.1 vorgestellt.

³⁵⁰ Vgl. Akin, B. (2002), S. 124, der diese Anforderungen für die simulationsgestützte Wahl der Bevorratungsebene aufstellt.

weitestgehend deterministisch angesehen. Sowohl die Anforderungen aufgrund externer als auch aufgrund interner Dynamik haben Berücksichtigung zu finden. Ein selbständiges Anpassungsverhalten des Produktionssystems aufgrund identifizierter Dynamik durch Ausnutzung der gegebenen Handlungsspielräume der operativen Ebene soll Eingang in die Untersuchung finden.

Reale Aufgabenstellungen erfordern eine variable Betrachtungsgenauigkeit. So kann der Betrachtungsgegenstand eine Fertigungslinie im Werk, die Wertschöpfungskette innerhalb eines Werkes vom Wareneingangs- bis zum Warenausgangslager oder eine Supply-Chain über mehrere Unternehmen sein. Die zu entwickelnden Modellbestandteile zur Abbildung von Produktiveinheiten sollen unabhängig vom Abstraktionsniveau, auf dem Produktionssysteme betrachtet werden, nutzbar sein. Die zu entwickelnde Vorgehensweise soll nicht nur in der Lage sein, die Auslegung von Produktionssystemen zu unterstützen, sondern sollte sich dazu eignen, eine laufende Gestaltung von Handlungsspielräumen zu ermöglichen.

Eine der Grundanforderungen an die zu entwickelnde Methodik liegt darin, die Erhebung der Daten verständlich zu gestalten. Das Zusammenwirken der einzelnen Elemente ist aufgrund der vorhandenen Komplexität, der Rückkopplungen und Zeitverzögerungen für die Akteure einerseits nicht unmittelbar verständlich. Auf der anderen Seite nutzt jeder Akteur das ihm eigene Modell zur Erklärung der Problemstellung. Eine methodische Unterstützung sollte deshalb ermöglichen, die vorliegende Problemstellung zu beschreiben, zu erklären und Entscheidungsunterstützung zu gewähren.³⁵¹ Die Informationserhebung soll sich dabei auf Informationen beschränken, die mittels Moderationsmethoden erhoben werden können. Die Arbeit mit komplizierten Differenzialgleichungen oder Integralen führt bei Unternehmensmitarbeitern mit einem geringeren Qualifikationsniveau im Zweifel lediglich zu Missstimmung.³⁵²

Jedes Unternehmen sieht sich spezifischen Herausforderungen gegenüber. Das zu entwickelnde Gesamtkonzept muss aus diesem Grund die Möglichkeit bieten, neue unbekannte Zusammenhänge einfach in das Modell zu integrieren.

³⁵¹ Vgl. Wilms, F. E. P. (2001), S. 26; Kirchhof, R. (2003), S. 46.

³⁵² Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 209.

4 Abbildung des Produktionssystems in dynamischen Systemmodellen

4.1 Auswahl von Simulationsmethode und Simulationswerkzeug

4.1.1 Modellierung von Produktionssystemen

4.1.1.1 *Produktion als System*

Jegliche Form der Analyse des Produktionsbereiches sowie der Definition von Maßnahmen zur Erhöhung der Flexibilität setzt eine Abbildung des Problembereiches voraus. Im ersten Teil des vierten Kapitels erfolgt deshalb zunächst eine einführende Auseinandersetzung mit der Modellierung von Produktionssystemen. Die Unterschiede zwischen einer analytischen Vorgehensweise einerseits und einer simulationsgestützten Lösung andererseits, die jeweils einer Modellerstellung folgen können, werden dargestellt. Es wird begründet, warum für die Analyse der Flexibilität in Produktionssystemen Simulationen genutzt werden. Simulationen können hinsichtlich ihrer Zeitfortschreibung unterschieden werden. Die Kenntnis dieser Unterscheidung ist für die begründete Auswahl des Simulationswerkzeuges relevant. Die Auswahl des Simulationswerkzeuges ist im Einzelnen von der Art der Problemstellung, dem Abbildungsziel und der notwendigen Anwendungsorientierung des Simulationswerkzeuges abhängig und Inhalt des letzten Unterkapitels.

Ein System ist eine geordnete Ganzheit von Elementen, zwischen denen Beziehungen bestehen.³⁵³ Diese Beziehungen werden auch als Relationen bezeichnet.³⁵⁴ Die Elemente eines Systems wirken im Hinblick auf ein gemeinsames Ziel zusammen.³⁵⁵ Die Abgrenzung zwischen System und Umwelt erfolgt durch die Beschreibung einer Systemgrenze. Das System interagiert mit seiner Umwelt über Inputbeziehungen, die den Einfluss der Umwelt auf das System darstellen und Outputbeziehungen, die den Einfluss des Systems auf die Umwelt darstellen. Systemelemente besitzen Eigenschaften. Zusammenhänge zwischen den Eigenschaften eines Systemelements beschreiben dessen Funktionen.³⁵⁶ In Abbildung 21 werden beispielsweise die Eigenschaften des Systemelements „Bearbeitungsstation“ dargestellt, als Input Halbfabrikate aufzunehmen und als Output Fertigfabrikate auszustoßen. Damit besitzt das Systemelement „Bearbeitungsstation“ die Funktion, durch Bearbeitung Halbfabrikate in Fertigfabrikate umzuwandeln.

³⁵³ Vgl. Ulrich, H. (1968).

³⁵⁴ Vgl. Krallmann, H., Frank, H.; Gronau, N. (2002), S. 24.

³⁵⁵ Vgl. Forrester, J.W. (1972), S. 9.

³⁵⁶ Vgl. Krallmann, H., Frank, H.; Gronau, N. (2002), S. 24.

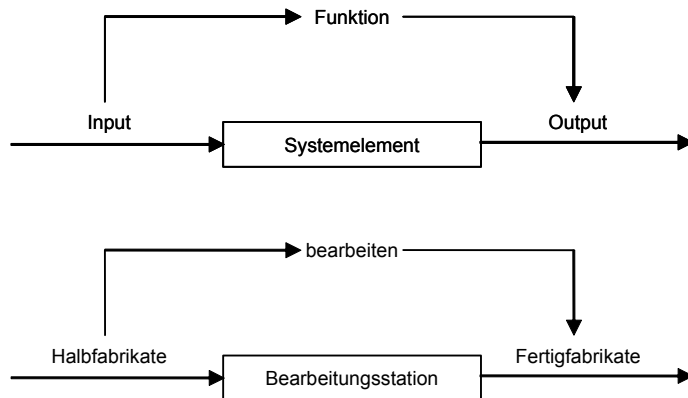


Abbildung 21: Systemelemente und Funktionen³⁵⁷

Relationen zwischen unterschiedlichen Elementen beziehungsweise Funktionen kennzeichnen Ordnungsbeziehungen beziehungsweise Wirkbeziehungen.³⁵⁸ Ordnungsbeziehungen zwischen den Elementen beschreiben den strukturellen Aufbau eines Systems während Wirkbeziehungen eine Aussage über dessen Verhalten ermöglichen. Eine steigende Anzahl an Ordnungs- und Wirkbeziehungen erhöht die Komplexität eines Systems.

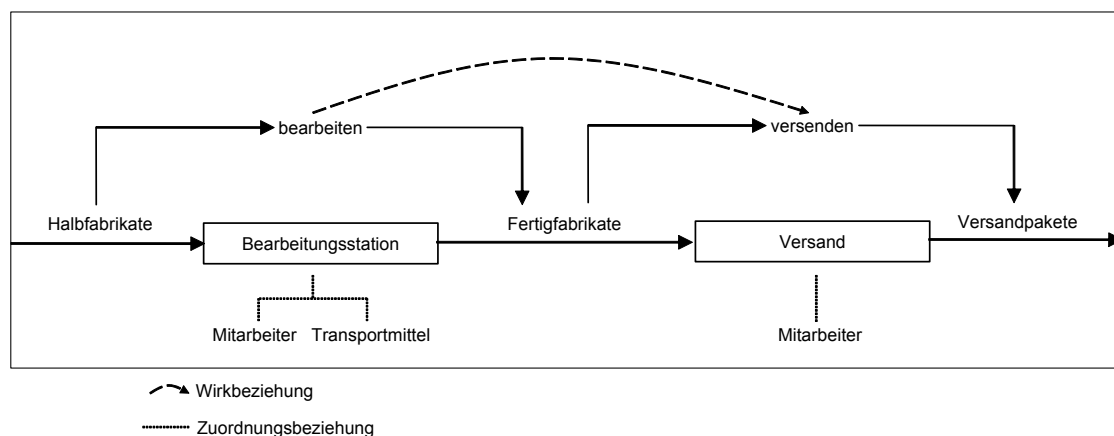


Abbildung 22: Wirk- und Zuordnungsbeziehungen³⁵⁹

Elemente eines Produktionssystems sind Betriebsmittel, die sich entsprechend ihrer Funktion unter anderem in Fertigungseinrichtungen, Speichereinrichtungen und Transporteinrichtungen unterteilen lassen, Werkstoffe, die sich bezüglich ihrer Verwendung in Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe gliedern und die menschliche Arbeit.³⁶⁰ Die Elemente beinhalten Flexibilitätsträger in Form von Aktionsmitteln und Aktionssubjekten. Anpassungsverhalten aufgrund von Änderungen von Aktionsobjekten, wie Werkstoffen, wird nicht betrachtet. Hinsichtlich der Struktur ihrer Ordnungsbeziehungen können Produktionssysteme entsprechend der räumlichen Anordnung der Betriebsmittel als Werkstatt-, Gruppen-, Reihen- oder Fließproduktion ausgelegt

³⁵⁷ Vgl. Krallmann, H., Frank, H.; Gronau, N. (2002), S. 24.

³⁵⁸ Vgl. Krallmann, H., Frank, H.; Gronau, N. (2002), S. 24.

³⁵⁹ Vgl. Krallmann, H., Frank, H.; Gronau, N. (2002), S. 24.

³⁶⁰ Vgl. Gutenberg, E. (1951).

werden.³⁶¹ Sind die Betriebsmittel nach ihrem technologischen Prinzip räumlich in Werkstätten zusammengefasst, so wird von einer Werkstattproduktion gesprochen. Bei Reihen- und Fließproduktionen entspricht die Anordnung der Betriebsmittel dem technologischen Verfahrensablauf, wobei der Materialtransport bei natürlichen und künstlichen Fließproduktionen in Abfolge und Geschwindigkeit weitestgehend fest vorgegeben ist. Die Gruppenproduktion ist ein Mischtyp der anderen Typen der Produktionsorganisation, bei der die Betriebsmittel örtlich so zusammengefasst werden, dass eine möglichst komplette Bearbeitung der Produkte erfolgen kann. Die in dieser Arbeit zu entwickelnde Vorgehensweise zielt auf die Abbildung mehrstufiger Reihen- und Fließproduktionen der Serienfertigung in Form von Fertigungslinien, Fließbändern und Transferstraßen.

Wirkungsbeziehungen zwischen Systemelementen erhalten ihre Gültigkeit erst durch Integration der Zeitkomponente in die Betrachtung. Durch die Definition von Wirkbeziehungen ist deshalb immer ein dynamisches System Betrachtungsgegenstand. Ein System besteht aus n Elementen $e_0 \dots e_n$. Jedem Element e_i lässt sich ein Zustand x_i zuordnen. Über die Zeit nimmt das System die Zustände $x = (x_0 \dots x_n)$ an. Der Zustand des Systems zum Zeitpunkt t ist x_t . Der Zustandsraum ist eine endliche Menge an möglichen Zuständen x und bezeichnet das Gebiet zwischen den Systemgrenzen. Die Abbildung π beschreibt die Veränderung des Zustandes über die Zeit und wird als Bewegungsgesetz bezeichnet. Der jeweils nachfolgende Zustand ergibt sich aus $x_{t+1} = \pi(x_t, t+1)$.³⁶²

Das damit beschriebene dynamische System ist zeitdiskret, wenn $t \in \mathbb{N}$. Die Elemente zeitdiskreter Systeme sind zu bestimmten definierten Zeitpunkten eindeutig definiert und messbar. Fast alle realen Systeme sind deshalb im Umkehrschluss kontinuierlich, da deren Elemente zu jedem beliebigen Zeitpunkt eindeutig messbar und beschreibbar sind. Wenn ein System in seiner Vergangenheit und Zukunft eindeutig bestimmbar ist, wird es als deterministisches System bezeichnet. Systeme, die zufälligen Veränderungen unterworfen sind, werden als stochastische Systeme bezeichnet. Ein Produktionssystem ist damit ein komplexes, zeitkontinuierliches, stochastisches dynamisches System.

³⁶¹ Vgl. Hoitsch, H.-J. (1993), S. 14, 15; Krycha, K.-T. (1996), Sp. 1620, 1621.

³⁶² Vgl. Krause, U.; Neseemann, T. (1999), S. 11.

4.1.1.2 Modelle des Produktionssystems

Produktionssysteme sind in ihrer Struktur und ihrem Verhalten hochgradig komplex. Erkenntnisse über die Auswirkung von Änderungen im Produktionssystem oder die Reaktion auf neue Anforderungen an das System lassen sich oft nicht über Experimente am Original gewinnen. So ist es schwer vorstellbar, dass ein Unternehmen hohe Investitionen in Betriebsmittel tätigt, ohne die Möglichkeit der räumlichen Integration im Produktionssystem vorher geprüft zu haben. Betrachtungen dieser Art erfordern die Abbildung eines realen Systems in einem Modell. Ein Modell wird beschrieben als „... ein System, welches durch eine zweckorientierte, abstrakte Abbildung eines anderen Systems entstanden ist.“³⁶³

Obigem Beispiel folgend könnte die Prüfung der Integration eines neuen Betriebsmittels in den Produktionsprozess durch Aufbau einer zweiten Produktionslinie erfolgen. Dieses strukturgleiche, so genannte isomorphe Modell wäre jedoch weder zweckorientiert noch abstrakt. Ein Layoutplan der bestehenden Anlage, auf dem die Integration der neuen Anlage maßstäblich und zweidimensional skizziert würde, wäre eine zweckorientierte abstrakte Abbildung des Originals, die dem Original ähnlich wäre, ohne dieses strukturgleich nachzubilden. Strukturelle Eigenschaften, wie komplizierte geometrische Eigenschaften der neuen Anlage lassen sich auf diese Weise nur schwer berücksichtigen. Es wird angenommen, dass diese Eigenschaften für den Untersuchungszweck nicht relevant sind. Ebenso können bei der Abbildung im Modell unterschiedliche Verhaltenseigenschaften der beschriebenen Elemente vernachlässigt werden. Auch dabei unterstellt man, dass diese Elemente bezüglich des Untersuchungszweckes keine Relevanz besitzen. Bezogen auf das Beispiel könnte unterstellt werden, dass vorhandene Zwischenlager nicht abgebildet werden, weil angenommen wird, dass sie das Produktionsverhalten der neuen Anlage nicht beeinflussen. Modellannahmen erlauben eine Reduktion der Komplexität der Abbildung im Vergleich zum Original durch Vernachlässigung bestimmter Systemeigenschaften in der Abbildung. Es werden genau die Eigenschaften vernachlässigt, die für die Problemstellung nicht von Bedeutung sind.

Unterschieden werden kann, wie in Abbildung 23 dargestellt, zwischen Beschreibungsmodellen, Erklärungs- bzw. Simulationsmodellen und Entscheidungs- bzw. Optimierungsmodellen.³⁶⁴ Beschreibungsmodelle bilden das System in ihrer Struktur ab. Bei einem Produktionssystem beschreiben Layoutpläne und Organigramme die Struktur des Systems. Erklärungs- bzw. Simulationsmodelle werden erstellt, um eine Aussage über das Modellverhalten über die Zeit treffen zu können. Eine Änderung der Inputparameter führt zu einem unterschiedlichen Systemverhalten, wobei die Wirkung der Kausalbeziehungen Betrachtungsgegenstand ist. Bei einem Entscheidungs- bzw. Optimierungsmodell wird nach Handlungsalternativen gesucht, welche die für die Outputgrößen vorgegebenen Ziele bei einer Analyse des Modellverhaltens über die Zeit am besten erfüllen. Durch Integration der Zeitkomponente sind die beiden zuletzt genannten Modelltypen dynamische Systemmodelle.

³⁶³ Krallmann, H.; Frank, H.; Gronau, N. (2002), S. 32.

³⁶⁴ Vgl. Küll, R.; Stähly, P. (1999), S. 3.

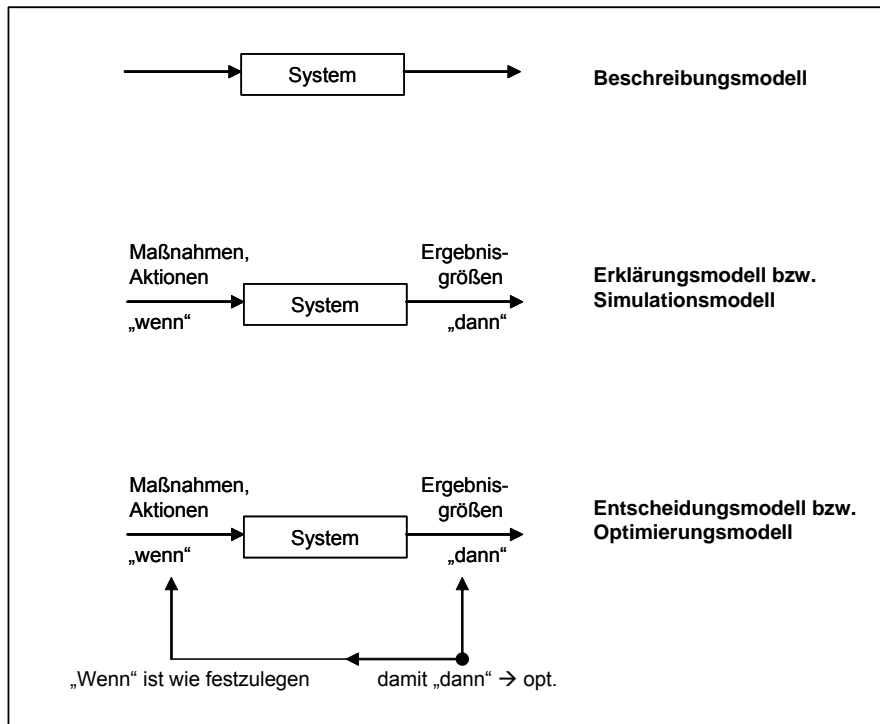


Abbildung 23: Modelltypen³⁶⁵

Modellierungstechniken enthalten klare Vorgaben für die Darstellung von Systemen und können auf dem Papier oder mittels elektronischer Unterstützung erstellt werden. Bei der Modellierung einer Fertigungsstraße mittels eines Layoutplanes ist es möglich, einen Zeichentisch oder ein Softwareprogramm zu nutzen, wobei die Art und Güte der Darstellung des Modells sich im Nachhinein nicht unterscheiden muss. Unabhängig vom Modelltypus bleibt festzustellen, dass alle rationalen Entscheidungen auf Modellen basieren, unabhängig davon, ob diese implizit mentaler oder explizit-formaler Natur sind.³⁶⁶ Jegliche Entscheidung wird demnach durch den Einsatz von Modellen unterstützt, an denen „Wenn-Dann-Analysen“ durchgeführt werden.³⁶⁷

Die Wirkungen der so benannten Kausalzusammenhänge auf das Gesamtsystem müssen nicht optimiert werden, um in Form von Entscheidungs- und Optimierungsmodellen bei Gestaltungsentscheidungen zu unterstützen. Auch Erklärungs- und Simulationsmodelle erhöhen das Problemverständnis, geben Aufschluss über das Verhalten komplexer Systeme und sind somit geeignet, entscheidungsunterstützend zu wirken.

³⁶⁵ Vgl. Küll, R.; Stähly, P. (1999), S. 3.

³⁶⁶ Vgl. Beer, S. (1966), S. 100; Stachowiak, H. (1969), S. 9. zitiert nach Milling, P. (2002), S. 18.

³⁶⁷ Vgl. Milling, P. (2002), S. 18,19.

4.1.2 Simulation von Produktionssystemen

4.1.2.1 Analytische Modelle und Simulationsmodelle

Die Erstellung eines Abbildes des realen Systems in einem Modell ist Voraussetzung für eine Modellanalyse. In der Literatur finden sich oft Definitionen, welche den Prozess der Modellerstellung in den Simulationsbegriff mit einbeziehen.³⁶⁸ Eine strikte Trennung von Modellerstellung und Simulation ist jedoch sinnvoll, weil nicht auf jede Modellerstellung eine Simulation folgt und bei der Überführung eines Modells in ein simulationsfähiges Modell oft Annahmen geändert werden müssen.³⁶⁹ Eine Simulation setzt auf den Prozess der Modellentwicklung auf und wird definiert als die Nachahmung des dynamischen Verhaltens eines realen Systems mittels eines Modells.³⁷⁰

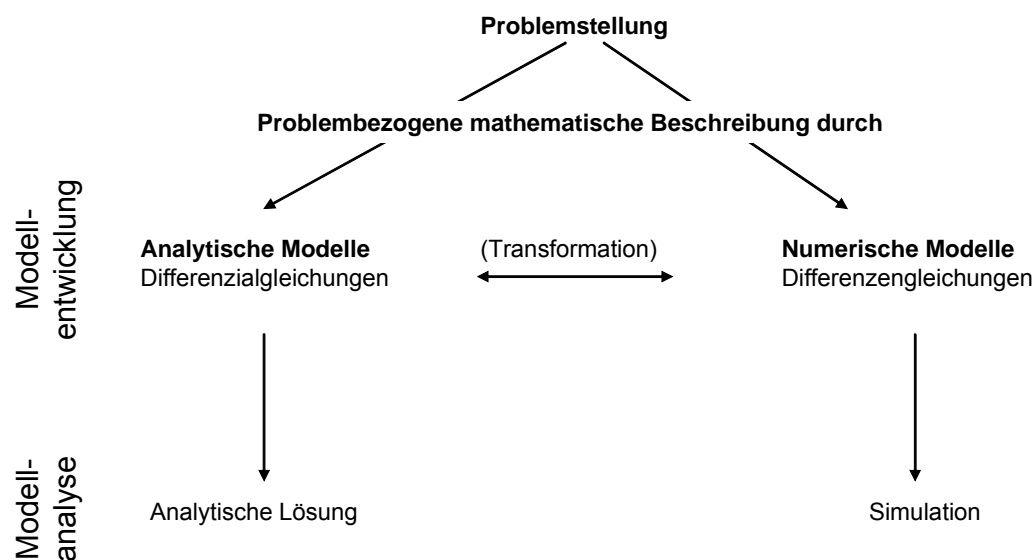


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen Modellentwicklung und Simulation³⁷¹

Neben der Simulation wurde eine Vielzahl analytischer Verfahren zur Leistungsbewertung von Fließproduktionssystemen entwickelt. Die mathematische Beschreibung der Problemstellung ist die Grundlage für analytische oder simulative Modellanalysen. Wird mit der Modellbeschreibung das Ziel einer analytischen Problemlösung verfolgt, so können beispielsweise Methoden genutzt

³⁶⁸ Vgl. Frank, M. (1999), S. 51 und die dort zitierte Literatur.

³⁶⁹ Vgl. Milling (1996), Sp. 1841. Er ist der Meinung, dass der Begriff des Modells unlösbar mit dem Simulationsbegriff verbunden ist, dass die Verwendung von Modellen, aber andererseits nicht simulationsspezifisch ist.

³⁷⁰ Vgl. Strohhecker, J. (1998), S. 208. Die Definition lehnt sich an die Definition nach der VDI-Richtlinie 3633 an, nach der ist Simulation „... das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“ [Vgl. VDI-Richtlinie 3633.

³⁷¹ Vgl. Frank, M. (1999), S. 51.

werden, die auf Markov-Ketten sowie Ansätzen der Warteschlangentheorie basieren.³⁷² Da analytische Verfahren nur für den Zwei-Maschinen-Fall exakte Ergebnisse liefern, werden in der Regel Approximationsverfahren eingesetzt, bei denen Subsysteme des Fließfertigungssystems gebildet werden, in denen eine erste Maschine des Subsystems den Zugangsprozess in einen Puffer und eine zweite Maschine den Abgangsprozess beschreibt.³⁷³ Der Einsatz analytischer Verfahren wird lediglich im Bereich der Grobplanung von Produktionssystemen empfohlen, da hier beispielsweise bei unsicheren Daten über das Ausfallverhalten neuer Produktionssysteme die Annahme bestimmter Verteilungsfunktionen dem Untersuchungszweck genügt und eine Aussage über die Dimensionierung notwendiger Puffer getroffen werden kann.³⁷⁴ Im Gegensatz zu analytischen Verfahren müssen bei Simulationen zur Darstellung des Ausfallverhaltens keine statistischen Verteilungsfunktionen genutzt werden, sondern es ist der Einsatz messbarer Kennzahlen des Realsystems möglich. Annahmen, wie das Vorhandensein einer unendlichen Reparaturkapazität, welche die Nutzung analytischer Modelle voraussetzen, müssen bei Simulationen nicht berücksichtigt werden.³⁷⁵ Simulationen erlauben beispielsweise eine Abbildung der Entwicklung der Pufferlager über die Zeit, weil sie eine Betrachtung der Entwicklung der Variablen über die Zeit erlauben. Simulationsverfahren werden deshalb insbesondere dann eingesetzt, wenn das Modell die Lösungsfähigkeit mathematisch-analytischer Verfahren überschreitet, was schon bei sehr kleinen Modellen der Fall sein kann, wenn reale Systeme so komplex sind, dass erst eine Vereinfachung und Konzentration auf wenige Faktoren die Voraussetzungen schaffen, undurchsichtige Zusammenhänge und Ursache-Wirkungsbeziehungen zu verstehen oder Experimente aus ökonomischen, technischen und ethischen Gründen nicht möglich oder erwünscht sind.³⁷⁶ Weil die meisten Simulationsstudien sich auf die elektronische Datenverarbeitung stützen, wird im Folgenden der Begriff Simulation als Synonym für die Computersimulation genutzt. Computerprogramme, welche ein dynamisches Modell abbilden, werden im Folgenden als Simulatoren bezeichnet.

An dieser Stelle sei explizit darauf hingewiesen, dass die vorgenommene Unterscheidung in analytische und numerische Modelle mit den logischen Konsequenzen in Form analytischer Lösungen und Simulationslösungen nur didaktischer Natur ist. Realiter ist der Übergang fließend und es werden analytische Modelle vorgestellt, welche dynamische Komponenten beinhalten können.³⁷⁷ Trotzdem setzt die Bearbeitung einer Problemstellung grundsätzlich die Auswahl eines Lösungsansatzes voraus. Flexibilitätsprobleme resultieren aus Änderungen interner und externer Einflussparameter über die Zeit. Dynamische Modelle integrieren die Zeitkomponente, zielen auf die Durchführung von Simulationsstudien und werden deshalb für die Darstellung des Flexibilitätpotentials des Produktionsbereiches genutzt.

³⁷² Vgl. Schultmann, F.; Heese, S.; Rentz, O. (2002), S. 195.

³⁷³ Vgl. Schultmann, F.; Heese, S.; Rentz, O. (2002), S. 198-201.

³⁷⁴ Vgl. Schultmann, F.; Heese, S.; Rentz, O. (2002), S. 203.

³⁷⁵ Vgl. zu den Annahmen auf der Warteschlangentheorie basierender Verfahren Schultmann, F.; Heese, S.; Rentz, O. (2002), S. 199.

³⁷⁶ Vgl. Milling, P. (1996), Sp. 1841.

³⁷⁷ Vgl. dazu das Optimierungsmodell von WILD, was in Teilen dynamische Sachverhalte beschreibt und in ein ablauffähiges Computerprogramm überführbar ist. [WILD, B. (1995), S. 144-151, 257.]

4.1.2.2 Klassifizierung nach Art der Zeitfortschreibung

Simulatoren zur Abbildung dynamischer Modelle unterscheiden sich im Mechanismus, die Beziehung zwischen dem Systemzustand und dem Systemverhalten, also der Änderung des Zustandes über die Zeit, zu beschreiben. Die Zeitfortschreibung in dynamischen Systemmodellen kann zeitdiskret oder zeitkontinuierlich erfolgen.

Simulatoren zum Aufbau diskreter dynamischer Modelle können ihrerseits nochmals hinsichtlich der Form der Zeitfortschreibung unterschieden werden. Die Zeitfortschreibung erfolgt entweder ereignis- oder aktivitätsorientiert. Bei ereignisorientierten Simulatoren schaltet die Simulationsuhr bei Eintritt eines Ereignisses in nicht äquidistanten Zeitschritten weiter, wobei Reihenfolge und Zeitpunkte der Ereignisse in einem „Simulationskalender“ explizit definiert sind.³⁷⁸ Aktivitätsorientierte Simulatoren verbinden die Ereignisse durch Modellzeit konsumierende Phasen, in denen die Elemente Aktivitäten ausführen. Aktivitäten bestehen aus Operationen und zustandsbedingten Pausen, wie Warte- und Unterbrechungszeiten.³⁷⁹ In fast allen diskreten Simulationssprachen werden diese beiden Grundmuster kombiniert und führen zu einem dynamischen Prozessmodell.³⁸⁰ Diskrete Simulatoren ermöglichen die Beschreibung von logistischen Problemstellungen und stückgutorientierten Produktionsprozessen mit hohem Detaillierungsgrad und einer präzisen Abbildung von Produktionsprozessen. Sie finden ihre Anwendung bei der Auslegung von Fertigungslinien, werden aber ebenso eingesetzt, um Entscheidungen der Personalplanung im Fertigungsbereich zu simulieren.³⁸¹ Bei schlecht strukturierten Problemstellungen, wie in der Entwurfsphase der Prozessstruktur im Vorfeld der Einführung von ERP-Systemen werden diskrete Simulatoren genutzt, um zukünftige Softwareanwendungen zu strukturieren.³⁸²

Simulatoren zur Abbildung kontinuierlicher dynamischer Modelle stoßen die Objekte des Modells zu äquidistanten Zeitpunkten zu Aktionen an. Werden die Zeitschritte hinreichend klein gewählt, ergibt sich ein fließender Übergang zur kontinuierlichen Simulation. Durch die verbreitete Verwendung von Digitalrechnern werden auf diesem Weg Differenzengleichungen durch hinreichend kleine Zeitschritte des Lösungsintervalls in (quasi-)kontinuierliche Simulationsmodelle transformiert.³⁸³ Kontinuierliche Simulationen erlauben die Abbildung nichtlinearer Beziehungen und Rückkopplungen zwischen den Strukturvariablen. Kontinuierliche, auch verfahrenstechnisch genannte, und diskrete, auch logistisch genannte Simulationsverfahren werden in den Unternehmen derzeit in ihrer Anwendung noch nicht integriert eingesetzt.³⁸⁴ In der Verfahrensindustrie ist es mit den auf dem Markt verfügbaren Simulationsprogrammen derzeit nicht möglich, ereignisdiskrete und kontinuierliche Simulationen gemeinsam durchzuführen. Allgemeine Simulationsprogramme, die den Ablauf hybrider Modelle erlauben, enthalten in der Regel kein spezifisches verfahrenstechnisches Fachwissen.³⁸⁵

³⁷⁸ Vgl. Page, B. (1991), S. 26-28; Milling, P. (1996), Sp. 1847.

³⁷⁹ Vgl. Frank, M. (1999), S. 52.

³⁸⁰ Vgl. Milling, P. (1996), Sp. 1847; Frank, M. (1999), S. 52.

³⁸¹ Vgl. z.B. Heel, J.; Krüger, J. (1999).

³⁸² Vgl. hierzu die Simulationssoftware ARIS der IDS Scheer AG.

³⁸³ Vgl. Milling, P. (1996), Sp. 1846.

³⁸⁴ Vgl. Silver (2002), S. 32.

³⁸⁵ Vgl. Silver (2002), S. 32.

Bisherige Ansätze zur Modellierung von Produktionssystemen sind in der Regel klar der ereignisdiskreten oder der kontinuierlichen Simulation zuzuordnen. Eine Kombination diskreter und kontinuierlicher Modelle ist keinesfalls kritisch zu beurteilen, da ein starres Festhalten an der Trennung den Blick für neue, innovative Lösungen verbaut.³⁸⁶ Eine diskrete Umsetzung einzelner Bestandteile eines kontinuierlichen Systemmodells widerspricht nicht dem System-Dynamics-Leitgedanken, da der Prämisse der Informationsrückkopplung weiter gefolgt werden kann.³⁸⁷

Bestehende Ansätze zur Entscheidungsunterstützung bei der Gestaltung flexibler Produktionssysteme auf taktischer Ebene setzen oft diskrete Simulationsmodelle zur Abbildung des Produktionssystems ein. Trotz der trivialen Definition von diskreten dynamischen Systemen ist die Beschreibung des Langzeitverhaltens der Systeme bei $t \rightarrow \infty$ insbesondere bei nicht linearen dynamischen Zusammenhängen oft extrem schwierig.³⁸⁸ Die Verhaltensbeschreibung erfolgt durch Definition der Abbildung π .³⁸⁹ Durch das Vermögen, nicht lineare Beziehungen und Rückkopplungen zwischen den Systemvariablen abbilden zu können, eignen sich kontinuierliche Simulationsmodelle zur Beschreibung der Abbildung π . Aus diesem Grund erfolgt eine Nutzung von Simulationsmodellen mit diskreten und kontinuierlichen Modellbestandteilen zur Abbildung des Produktionssystems.

³⁸⁶ Vgl. Strohhecker, J. (1998), S. 176; Schmidt, B. (1985), S. 9.

³⁸⁷ Vgl. Hopfmann, L. (1989), S. 131.

³⁸⁸ Vgl. Krause, U.; Nesemann, T. (1999), S. 12.

³⁸⁹ Vgl. zur Definition der Abbildung π Kapitel 4.1.1.1.

4.1.3 Eigenschaftsorientierte Auswahl eines Simulationswerkzeuges

4.1.3.1 Problemorientierung beim Einsatz von Simulationsmodellen

Die Auswahl eines geeigneten Simulationswerkzeuges ist von den Merkmalen der vorliegenden Problemstellung abhängig. Die vorgestellten Modelltypen sollen deshalb im Folgenden unterschiedlichen Problemkategorien zugeordnet werden.

Entscheidungs- bzw. Optimierungsmodelle finden sich hauptsächlich unter den Modellierungsverfahren, die durch eine analytische Vorgehensweise Lösungen erzeugen. Voraussetzung sind gut definierte Problemstellungen mit definierten Systemgrenzen und geringen Interdependenzen zwischen den Systemelementen. Es wurde festgestellt, dass diskrete Simulationsverfahren durch sukzessive Änderung der Parameter für jeweils einen Simulationslauf dazu genutzt werden, bei der Auswahl optimaler Handlungsalternativen zu unterstützen.³⁹⁰ Dabei wird die Struktur des Produktionsbereiches in definierten Grenzen streng deterministisch und detailliert abgebildet, wobei die Wirkbeziehungen zwischen den Elementen sich in der Regel auf elementare Steuerungsparameter wie Reihenfolgebeziehungen beschränken. Es wird das Ziel verfolgt, Strukturen zu entwickeln, welche die spätere Realisierung der Produktion vor dem Hintergrund eines erforderlichen, aus den taktischen Zielstellungen abgeleiteten Flexibilitätspotentials, erlauben. Mit gleichen Voraussetzungen und Zielen werden bei der Definition und Strukturierung von Geschäftsprozessen diskrete Simulationsverfahren eingesetzt. Diskrete Simulationsverfahren lassen sich der Modellkategorie der Entscheidungsbeziehungsweise Optimierungsmodelle zuordnen, da sie auf die geschilderte Art Entscheidungsunterstützung geben. Der Einsatz diskreter Simulationsverfahren zur Unterstützung der Produktionsplanung auf taktischer Ebene ist weit verbreitet und erfährt im industriellen Einsatz, insbesondere bedingt durch immer bessere Voraussetzungen der elektronischen Datenverarbeitung, eine rasante Entwicklung. Bei schlecht strukturierten Entscheidungssituationen mit variablen Systemgrenzen und einer Vielzahl an Interdependenzen zwischen den Variablen haben diskrete Simulationsverfahren Grenzen.

Tabelle 8: Zuordnung von Simulationsmodellen und Problemkategorien³⁹¹

Problemeigenschaften	Verhalten der Dimensionsänderungen einzelner Elemente über die Zeit wird		
	Nicht berücksichtigt - Analytische Lösung	berücksichtigt - Simulation	
		Diskret	kontinuierlich
<ul style="list-style-type: none"> - wohlstrukturiert - definierte Systemgrenzen - kaum Interdependenzen zwischen den Elementen 	<u>Produktionsbereich, strategisch-taktische Planung</u> → Strategisch-taktische Ziele optimieren	<u>Geschäfts-, Produktionsprozesse</u> → Struktur geben und taktische Ziele optimieren	<u>Verfahrenstechnik</u> → Prozessparameter ändern bis Zielloptimum
<ul style="list-style-type: none"> - schlecht strukturiert - Systemgrenzen variabel - viele Interdependenzen zwischen den Elementen 			<u>Dynamische Systeme</u> → Verhalten aus Struktur- und Wirkungszusammenhängen analysieren

Charakteristischer Anwendungsbereich

→ ... charakteristische Zielstellungen beim Einsatz

³⁹⁰ Vgl. Kapitel 3.2.4.1.

³⁹¹ Eigene Darstellung.

Aus den Zielen der Modellerstellung und Simulation sowie aus den Charakteristika realer Systeme lassen sich die Motive für die Untersuchung von Systemen mittels kontinuierlicher systemdynamischer Modelle ableiten.³⁹² Als erstes wird angenommen, dass ein implizites planungspolitisches Ziel die Erforschung von Ursachen für beobachtetes Systemverhalten und der Konsequenzen von verhaltensändernden Entscheidungen im System ist. Das betrachtete System wird einer dynamischen Prozessbetrachtung unterworfen. Von Interesse bei einer solchen Betrachtung sind nicht nur die Endergebnisse von Entscheidungen, sondern auch das Übergangsverhalten von einem Systemzustand in den nächsten. Ein zweites Argument für die Nutzung kontinuierlicher systemdynamischer Modelle ist die Erkenntnis, dass alle wirklichen Systeme nichtlineare Systeme sind. Bei der Komplexität sozio-ökonomischer Systeme ist eine Linearisierung de facto nichtlinearer Zusammenhänge im Rahmen der Modellerstellung stets problematisch, weil aus Gründen der modelltechnischen Operationalität eine teils starke „Verfremdung“ des Verhaltens der Realität in Kauf genommen werden muss.

Sind bei schlecht strukturierten Problemen die Systemgrenzen variabel und bestehen viele Interdependenzen sowie Rückkopplungsbeziehungen zwischen den Elementen, so eignen sich kontinuierliche Simulatoren zur Analyse von Struktur- und Wirkungszusammenhängen der Systeme. Kontinuierliche Simulationsmodelle können einerseits durch eine produktionsnahe detaillierte Abbildung von Prozessen der Verfahrenstechnik direkt zur Entscheidungsunterstützung eingesetzt werden. Ihr Einsatz bei schlecht strukturierten Entscheidungen mit variablen Systemgrenzen auf strategischer Ebene trägt andererseits zunächst vordergründig den Charakter von Erklärungsmodellen, da primär ein tieferes Verständnis von Flexibilitätstatbeständen ermöglicht wird.³⁹³ Durch Sensitivitätsanalysen können jedoch auch bei Einsatz kontinuierlicher Simulationsverfahren Ansatzpunkte zur Systemgestaltung gegeben werden. Dies belegen die vorhandenen Systemstudien zur Flexibilitätsgestaltung auf strategischer Ebene ebenso wie die exemplarische Untersuchung eines realen Flexibilitätsgestaltungsproblems auf taktischer Ebene.³⁹⁴

Die Nutzung analytischer Lösungsverfahren in Form statisch-linearer Modelle wird dort empfohlen, wo das abgebildete System keine entscheidungsinduzierten Reaktionen erwarten lässt.³⁹⁵ Analytische Lösungen werden beispielsweise bei der Optimierung strategisch-taktischer Ziele angestrebt. Im Unterschied zu statisch-analytischen Verfahren erfolgt die Systembetrachtung unter Nutzung kontinuierlicher Modelle meist längerfristig mit dem Ziel, zu untersuchen, wie Informationen in Aktionen transformiert werden und nicht, wie einzelne Optimierungsentscheidungen in einer spezifischen Situation getroffen werden.³⁹⁶

³⁹² Vgl. im Folgenden Milling, P. (1981), S. 112, 113.

³⁹³ Vgl. die Würdigung der Arbeiten von KLAUE und HOPFMANN in Kapitel 3.3.2.1.

³⁹⁴ Vgl. die Würdigung der Arbeit von NAGEL in Kapitel 3.3.2.2.

³⁹⁵ Vgl. Milling, P. (1981), S. 113.

³⁹⁶ Vgl. Milling, P. (1996), Sp. 1845, 1846.

4.1.3.2 Abbildungsziel beim Einsatz von Simulationsmodellen

Diskrete und kontinuierliche Simulationsverfahren unterscheiden sich in den in Tabelle 9 dargestellten Zielen, die mit der Abbildung des Produktionssystems auf taktischer Ebene verfolgt werden. Diskrete Simulationsmodelle werden genutzt, um Alternativen der Gestaltung des Ausführungssystems darzustellen. Im Rahmen der Planung und des Betriebes von Produktionssystemen nimmt der Detaillierungsgrad der Darstellung des Produktionssystems von der Grobplanung bis zum Betrieb zu.³⁹⁷ Die Darstellung des Steuerungsverhaltens der operativen Ebene beschränkt sich in diskreten Simulationsmodellen in der Regel auf vorgegebene Routinen der Simulationswerkzeuge.

Tabelle 9: Abbildungsziele des Einsatzes von Simulationsmodellen auf taktischer Ebene³⁹⁸

<div> <div>Simulations- verfahren</div> <div>Abgebildete Ebene</div> </div>	Diskrete Simulationsmodelle	Kontinuierliche Simulationsmodelle
Operative Ebene	Berücksichtigung der Produktionssteuerung durch in Simulationswerkzeugen vorgegebenen Routinen	Berücksichtigung des Systemverhaltens bei Auftreten interner und externer Dynamik durch Definition der Produktionssteuerung entsprechend der Beschreibung der Akteure
Ausführungssystem	Abbildung von Alternativen der Gestaltung des Ausführungssystems mit hohem Detaillierungsgrad	Abbilden des Ausführungssystems auf hohem Aggregationsniveau beziehungsweise Nutzung ausgewählter Kennzahlen aus diskreten Simulationsmodellen oder dem Realsystem

Der Einsatz kontinuierlicher Simulationsverfahren bietet die Möglichkeit der Berücksichtigung von Rückkopplungen sowie Nichtlinearitäten, so dass das langfristige, durch unterschiedliche interne und externe Dynamik bedingte Verhalten des Produktionssystems abgebildet werden kann. In der Analysephase wird es durch den Einsatz kontinuierlicher Simulationsverfahren einerseits möglich, die Sensitivität des Systemsverhaltens bei der Änderung von Parametern zu untersuchen. Andererseits kann das Systemverhalten bei Systemübergängen von einem in den nächsten Zustand detailliert analysiert werden.

Bei der Erfassung der Fülle unterschiedlicher Parameter, die aus den Argumenten der Akteure resultieren und oft schlecht quantifizierbar sind, sind Simulationstools mit vorgegebenen Routinen nur begrenzt einsetzbar. Andererseits erleichtern diese zeitlich und inhaltlich die Erstellung von Simulationsmodellen. Im nächsten Kapitel werden unterschiedliche, vorhandenen Simulatoren zugrunde liegende Modellierungsverfahren vorgestellt, aus denen Unterschiede bezüglich nutzbarer Freiheitsgrade bei der Modellerstellung hervorgehen.

4.1.3.3 Anwendungsorientierung bei der Nutzung von Simulationswerkzeugen

Der Einsatz von Simulatoren in der Industrie ist aus unterschiedlichen organisatorischen und einem Simulationsprojekt inhärenten Gründen als kritisch einzuschätzen.³⁹⁹ Die Einarbeitung von Mitarbeitern in die Benutzung von Simulationswerkzeugen erfordert hohen

³⁹⁷ Vgl. Skudelny, Ch. (1993), S. 26.

³⁹⁸ Eigene Darstellung

³⁹⁹ Vgl. hierzu Spath, D.; Lanzam G.; Herm, M. (2002), S. 448,

Qualifikationsaufwand. Der Einsatz von Simulatoren erfolgt in der Regel auf einen spezifischen Anwendungsfall bezogen und führt zu Insellösungen, die nicht wieder verwendbar sind. Mit Abschluss eines Projektes oder dem Abgang des qualifizierten Simulationsexperten verlässt das Simulations-Know-how das Unternehmen.

Die Ausprägungen dieser Nachteile unterscheiden sich in Abhängigkeit des dem Simulator zugrunde liegenden Modellierungsverfahrens.⁴⁰⁰ Spezielle Simulatoren wurden für einen bestimmten Anwendungsbereich entwickelt und erlauben einen Einsatz mit oft vorab definierten Auswertungs- und Optimierungsmethoden. Ein plastisches Beispiel für diese Simulatoren, deren Vorteile in einer hohen Abbildungsgenauigkeit liegen, sind Simulationsprogramme zur Analyse von Strömungen im Windkanal.

Eine zweite Kategorie von Simulatoren setzt auf vorhandene Bibliotheken mit vorgefertigten Modulen, so genannten Bausteinen, auf. In der Regel können erwünschte aber nicht vorhandene Module selbst erstellt und der Bibliothek hinzugefügt werden. Der Anwender hat auf diese Weise die Möglichkeit, mit geringem Aufwand alternative Systemstrukturen zu entwickeln und auszuwerten. Die Nutzung von Simulatoren mit bausteinorientierten Bibliotheken ist die heute im Rahmen von Produktionsplanungsprojekten am meisten eingesetzte Modellierungsmethode. Diese Simulatoren unterstützen entweder den Aufbau kontinuierlicher Simulationsmodelle zur Darstellung verfahrenstechnischer Produktionsprozesse oder den Aufbau diskreter Simulationsmodelle zur Darstellung fertigungstechnischer Produktionsprozesse.

Tabelle 10: Simulatoren zu Grunde liegende Modellierungsverfahren⁴⁰¹

		Vorteil	Nachteil	Einsatzkriterium
Modellierungsverfahren	Spezielle Simulatoren	höchste Abbildungsgenauigkeit	Beschränkt auf engen Anwendungsbereich	Wird immer eingesetzt, wenn möglich
	Bausteinorientiert	Effektive Modellierung	Bausteine müssen vorhanden sein	Wird eingesetzt, wenn spezielle Simulatoren nicht möglich
	Simulationssprachen	Sehr flexibel	Hoher Modellierungs- und Änderungsaufwand	Nur zu ganz speziellen Problemen (z.B. Steuerung)
	Höhere Programmiersprachen	Beliebige Modellierungsflexibilität	Modellierungsaufwand nicht mehr zeitgemäß	Einsatz bei Schnittstellenproblemen

Simulationssprachen werden für die Untersuchung von Aufgabenstellungen eingesetzt, für die keine anderen Simulatoren zur Verfügung stehen. Gegenüber bausteinorientierten Simulatoren weisen sie eine deutlich höhere Flexibilität auf. Der Aufwand für die Modellerstellung wird bei heutigen Simulatoren, die sich einer Simulationssprache bedienen, durch grafische Unterstützung bei der Modellerstellung reduziert.⁴⁰²

Den größten Freiheitsgrad besitzen höhere Programmiersprachen. Durch sie können, in den bei Modellierungsprojekten natürlichen Grenzen⁴⁰³, nahezu alle Systeme modelliert werden.

⁴⁰⁰ Vgl. Skudelny, Ch. (1993), S. 24, 25.

⁴⁰¹ Vgl. Skudelny, Ch. (1993), S. 24.

⁴⁰² Vgl. hierzu beispielsweise die Entwicklung von der Simulationssprache DYNAMO bis zu anspruchsvollen, grafisch unterstützten Simulationstools, wie beispielsweise POWERSIM.

⁴⁰³ Vgl. hierzu Kapitel 4.1.

Höhere Programmiersprachen werden in der Regel verwendet, um Schnittstellenprobleme zu lösen.

Es wurde im vorherigen Unterkapitel gezeigt, dass die mit der Flexibilitätsgestaltung verbundenen Problemstellungen sehr komplex sind und Merkmale aufweisen, die für die Anwendung kontinuierlicher Simulationsmodelle geeignet sind. Für die Realisierung kontinuierlicher Simulationen existieren eine Reihe von Spezialsimulatoren. Diese werden beispielsweise in Form von Unternehmensplanspielen zur Aus- und Weiterbildung von Führungskräften im so genannten „Vernetzten Denken“ genutzt. Spezialsimulatoren, welche allein didaktische Ziele verfolgen, haben für den Anwender den Vorteil, dass die Modelle sofort einsatzfähig sind, dass in den Seminaren eine Anleitung zur Auswertung zur Verfügung gestellt wird und dass sich der Anwender auf die Variation von Parametern und die Interpretation der Ergebnisse konzentrieren kann. Ein Beispiel ist das Beer Game zur Erhöhung des Verständnisses für den Bullwhip-Effekt innerhalb des Supply Chain Management.

Für den Aufbau kontinuierlicher Simulationsmodelle zur Abbildung des Umgangs mit Dynamik bei schlecht strukturierten Problemstellungen existieren keine bausteinorientierten Simulatoren.⁴⁰⁴ Der Einsatz vorgefertigter Module wäre auch als bedingt zielführend einzuschätzen, weil vorgegebene Module meist den Charakter einer Blackbox haben und dem Anwender Einsichten in die Struktur und das Verhalten der Modelle dadurch erschwert werden. Genau diese Erkenntnisse sind jedoch für eine Systemklärung und eine problemspezifische Analyse der Modelle erforderlich. Kontinuierliche Simulationsmodelle werden in der Regel mit hybriden Simulatoren erstellt, die sowohl die Erstellung kontinuierlicher als auch diskreter Simulationsmodelle unterstützen. Beim Einsatz von Simulationssprachen wird der Anspruch gestellt, den Modellen für bestimmte Teilbereiche eines Untersuchungsgegenstandes wieder verwendbare Strukturen zu geben.

Einen starken Einsatz zur Realisierung kontinuierlicher Simulationen für die Abbildung spezifischer Problemstellungen erfahren grafisch unterstützte Simulationssprachen. Eine weit verbreitete Notation zur Abbildung schlecht strukturierter Probleme in kontinuierlichen Systemmodellen bieten Simulatoren, die den System-Dynamics-Ansatz nutzen. Beispiele für die Unterstützung der Modellbildung sind Simulatoren wie Powersim, iThink und Vensim. In dieser Arbeit wird das Softwarewerkzeug Powersim Studio genutzt. Während frei verfügbare Werkzeuge wie Vensim in unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen und zu Ausbildungszwecken eingesetzt werden, erfolgt der Einsatz von Powersim Studio kommerziell und vorrangig auf dem betriebswirtschaftlichen Sektor. Powersim Studio ist ein hybrides Simulationswerkzeug und verfügt über notwendige Schnittstellen zu ERP-Systemen.⁴⁰⁵

Im ersten Teil des vierten Kapitels wird die Erkenntnis gewonnen, dass das Produktionssystem ein komplexes, zeitkontinuierliches, stochastisches, dynamisches System ist. Die Abbildung des

⁴⁰⁴ In der Literatur werden Voraussetzungen beschrieben, um mit vordefinierten Modellkomponenten zu arbeiten. [Vgl. Liehr, M. (2002)] Dies ist von Vorteil, weil Effizienz und Effektivität des Modellierungsprozesses erhöht werden können. Weiterhin ist eine Vordefinition von Modellkomponenten erwünscht, um Potentiale einer breiteren Anwendung der Methode zu heben.

⁴⁰⁵ So wird Powersim Studio beispielsweise im SAP-Modul SEM-BPS eingesetzt und erfährt eine stetige Weiterentwicklung. Darüber hinaus wird dieses Werkzeug auch in der Forschung vorrangig zur Untersuchung wirtschaftlicher Fragestellungen eingesetzt.

Produktionssystem in einem Modell erlaubt die Ableitung entscheidungsunterstützender Erkenntnisse. Die Modellierung von Flexibilitätsproblemen innerhalb des Produktionssystems erfordert die Integration der Zeitkomponente und damit die Erstellung simulationsfähiger Modelle. Während die weit verbreitete Abbildung der operativen Ebene und des Ausführungssystems in diskreten Simulationsmodellen sich zur Lösung wohlstrukturierter Problemstellungen eignet, erlauben kontinuierliche Simulationsmodelle die Abbildung schlecht strukturierter Problemstellungen mit nicht linearen Interdependenzen zwischen den Systemelementen, wie sie auf taktischer und strategischer Ebene auftreten.

4.2 Elementare Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle

4.2.1 Aufbau kontinuierlicher Simulationsmodelle mit dem System-Dynamics-Ansatz

4.2.1.1 Herkunft und Ziele des System-Dynamics-Ansatzes

Im zweiten Teil des vierten Kapitels werden Aufbau und elementare Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle erarbeitet. Dies beinhaltet einerseits eine Beschreibung der methodischen Grundlagen des System-Dynamics-Ansatzes. Dieser unterstützt die Erstellung kontinuierlicher Systemmodelle durch eine eigene Notation, welche sich insbesondere zur Beschreibung schlecht strukturierter Problemstellungen eignet. Andererseits werden, auf diese Grundlage aufsetzend, Modellbestandteile kontinuierlicher Systemmodelle beschrieben, die unabhängig von der jeweiligen Problemstellung in nahezu allen Simulationsmodellen Einsatz finden. Dazu gehören die Darstellung von Zeitverzögerungen, Steuerungs- und Regelungsaktivitäten sowie die Abbildung von Entscheidungen und nicht-linearen Abhängigkeiten. Mit der verständlichen und kritischen Darstellung elementarer Modellbestandteile wird die Grundlage geschaffen, um Teilbereiche von Flexibilitätsproblemen abbilden zu können, deren Abbildung mit diskreten Simulationsmodellen nicht möglich ist.

Der von J.W. FORRESTER in den fünfziger Jahren entwickelte Industrial-Dynamics-Ansatz ist eine Methodologie, die auf den Erkenntnissen der Systemtheorie und Kybernetik aufbaut und in der angestrebten Realisierung kontinuierlicher Simulationsmodelle mündet. Nachdem sich in den folgenden Jahren die Erkenntnis durchsetzte, dass das entwickelte Konzept zur Modellierung, Simulation und Analyse dynamischer Systeme allgemein geeignet ist und sich nicht auf die Anwendung in industriellen Unternehmen beschränkt, wurde der Name in „System-Dynamics“ geändert. FORRESTER sieht im System-Dynamics-Ansatz eine Allgemeine Systemtheorie, die geeignet ist, bei Forschungsaktivitäten in den Bereichen Ingenieurwesen, Medizin, Betriebswirtschaftslehre, Psychologie und Volkswirtschaftslehre als einheitliches Denkmuster zu dienen.⁴⁰⁶ Die heutigen Repräsentanten ordnen den Ansatz unterschiedlich ein. Während der Ansatz für MILLING eine Theorie über den Aufbau und das Verhalten sozialer Systeme ist⁴⁰⁷, die sich zu einer allgemeinen Systemtheorie entwickelt⁴⁰⁸, darf er ebenso als Methode oder Methodologie bezeichnet werden.⁴⁰⁹ Der Methodenbegriff ist aufgrund einer über die Jahre entstandenen klaren Vorgehensweise für die Anwendung des Ansatzes zulässig, während die Einordnung als Methodologie sich darauf stützt, dass die Anwendung des System-Dynamics-Ansatzes auf hohem Abstraktionsniveau unter bestimmten Voraussetzungen und bei Verfolgung bestimmter Ziele zu Anwendung empfohlen wird.⁴¹⁰ Die Darstellung von Modellen

⁴⁰⁶ Vgl. Forrester, J. W. (1975), S. 135.

⁴⁰⁷ Vgl. Milling, P. (1984), S. 507.

⁴⁰⁸ Vgl. Milling, P. (2002), S. 10.

⁴⁰⁹ Vgl. Strohhecker, J. (1998), S. 121.

⁴¹⁰ Vgl. Strohhecker, J. (1998), S. 121.

der realen Welt erfolgt unter Nutzung des System-Dynamics-Ansatzes mit dem Ziel, Mechanismen zu identifizieren. Aus Sicht eines Kybernetikers wird an die Mechanismen der Anspruch gestellt, in Reinform vorzuliegen, das heißt, von allem Beiwerk, das lediglich akzidentellen Charakter hat, gesäubert zu sein.⁴¹¹ Untersuchungen mit dem System-Dynamics-Ansatz verfolgen damit nicht das Ziel, eine Optimallösung für ein bestimmtes Untersuchungsproblem zu ermitteln. Vielmehr wird die Auswirkung alternativer Entscheidungsregeln untersucht. Dazu wird ein Modell erstellt, das eine reduzierte Repräsentation der Realität ist wobei es nicht alle Komponenten des Originals umfasst. Um das Untersuchungsfeld einzugrenzen, können folgende Maßnahmen ergriffen werden:⁴¹²

- Elimination von Faktoren, die erfahrungsgemäß keinen oder einen sehr geringen Einfluss auf das Ergebnis haben,
- Einschränkung der Variationsbreite der in der Untersuchung genutzten Faktoren auf ein realistisches Intervall,
- Einschränkung der Untersuchung metrisch skalierbarer Größen auf eine sehr geringe Anzahl von Stufen.

Damit erfolgt eine pragmatische Herangehensweise, bei der Modelle zweckorientiert für bestimmte Planungsprobleme entwickelt werden, ohne konzeptionell eine allgemeine Gültigkeit anzustreben.⁴¹³

4.2.1.2 Validierung systemdynamischer Modelle

Die Notwendigkeit einer Validierung systemdynamischer Modelle erwächst daraus, dass sich der Modellkonstrukteur nicht damit zufrieden geben möchte, ein Simulationsmodell zu entwickeln, dessen Verhaltensverlauf dem eines Realsystems gleicht. Vielmehr ist es das erklärte Ziel der quantitativen Modellbildung, Aussagen über die Intensität und die Zeitpunkte des Verhaltens wesentlicher Systemvariablen zu erlangen.⁴¹⁴

Aus den Augen eines kritischen Betrachters versucht FORRESTER, sich vollständig von verbindlichen Beurteilungskriterien bei der Validierung von kontinuierlichen systemdynamischen Modellen zu befreien. Er spricht an,

- dass es kein objektives Kriterium gibt, nach dem beurteilt werden kann, ob von einem Untersuchungsgegenstand auch die signifikanten Probleme erfasst worden sind,
- dass es keinen objektiven Test gibt, der bei Modellkonstruktionsänderungen die Richtigkeit einer Prognose garantiert,
- dass der größte Anteil von Entscheidungsfunktionen nicht durch empirische Daten gestützt werden kann.⁴¹⁵

⁴¹¹ Vgl. Gomez, P.; Malik, F.; Oeller, K.-H. (1995), S. 559.

⁴¹² Vgl. Strohhecker, J. (1998), S. 219.

⁴¹³ Vgl. Milling, P. (1981), S. 110.

⁴¹⁴ Vgl. Apel, H. (1979), S. 69, Kapitel 4.1.3.2.

⁴¹⁵ Vgl. Forrester, J.W. (1962), S. 115, 116. zitiert nach Apel, H. (1979), S. 67, 68.

Schon sehr früh wird erkannt, dass eine umfassende Validierung der Systemstruktur eines Simulationsmodells schnell an die Grenzen der Wirtschaftlichkeit stößt.⁴¹⁶ Modellierer systemdynamischer Modelle mit dem Hintergrund praktischer Erfahrung bei der Modellbildung lassen sich beispielsweise in folgender Form zitieren: „Die Auffassung, man könne mit [...] einer Simulationssprache in kurzer Zeit komplexe Systeme darstellen und analysieren, ist ein Irrtum, der sich in allen mir bekannten Projekten herausstellte.“⁴¹⁷

Für FORRESTER ist die Modellgültigkeit relativer Natur und seine Brauchbarkeit ergibt sich aus dem Vergleich mit der gedanklichen Vorstellung über den Sachverhalt oder mit einem anderen abstrakten Modell, das als Ersatz dienen könnte.⁴¹⁸ Aus seiner Sicht ist ein Modell dann brauchbar „...“, wenn es Wege erschließt, auf denen die Genauigkeit, mit der wir die Wirklichkeit darstellen, verbessert...“⁴¹⁹

In den vergangenen Jahren wurden in der Wissenschaft Tests entwickelt, die das Validieren systemdynamischer Modelle unterstützen.⁴²⁰ Dabei stehen jedoch nicht, wie zu vermuten wäre, geeignete Tests und Kennzahlen aus der Statistik zur Verfügung.⁴²¹ Bei starken periodischen und aperiodischen Schwankungen oder s-förmigen Abschnitten versagen bekannte statistische Verfahren bei der Validierung systemdynamischer Modelle.⁴²² Aus diesem Grund wird bezüglich der Validierung dem Grundsatz einer partiellen, sequentiellen Modellentwicklung gefolgt, welche schon bei der Modellerstellung sicherstellt, dass Modellbestandteile ein weitestgehend reales Verhalten zeigen.⁴²³ Dabei wird einerseits laufend geprüft, ob das Modell logisch richtig ist während andererseits ständig bewertet wird, ob das Modell den notwendigen Grad an Zweckbezogenheit aufweist.⁴²⁴ Die Modellstruktur soll weiterhin die bedeutsamen Zusammenhänge erfassen und Verhaltenswirkungen erklären können.

Die Modellbestandteile, die mittels der Simulationssprache erstellt und in Form von Bausteinen bei der Erstellung des Simulationsmodells genutzt werden, um Flexibilitätsgestaltung zu unterstützen, werden in den folgenden Unterkapiteln entwickelt.

⁴¹⁶ Vgl. Apel, H. (1979), S. 164.

⁴¹⁷ Apel, H. (1979), S. 159. APEL spricht aus Sicht eines Sozialwissenschaftlers mehrere Ursachen an, die unverändert auch heute noch und für jegliche andere Wissenschaftsdisziplin die Gültigkeit dieser Aussage bestätigen und begründen. [Vgl. Apel, H. (1979), S. 159, 160.]

⁴¹⁸ Vgl. Forrester (1972), S. 78.

⁴¹⁹ Forrester, J.W. (1972), S. 79.

⁴²⁰ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 845-891; Barlas, Y. (1996); Strohhecker, J. (1998), S. 198-208.

⁴²¹ Vgl. Strohhecker, J. (1998), S. 199.

⁴²² Vgl. Barlas, Y. (1996), S. 194.

⁴²³ KÜLL/STÄHLY stellen fest, dass eine Simulationsstudie keinem sequentiellen Ablauf folgen darf, weil in der Regel sonst der Auswertung der Simulationsergebnisse und der Rückkopplung zwischen Modellauswertung und Modellentwicklung zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Durch die Nähe zwischen Modellentwicklung und –auswertung kann im Sinne einer Validitätsprüfung sichergestellt werden, dass das Modell eine ausreichend realitätsnahe Nachbildung des Systems gewährleistet. [Vgl. Küll, R.; Stähly, P. (1999), S. 6.]

⁴²⁴ Vgl. Strohhecker, J. (1998), S. 198.

4.2.1.3 Mathematische Grundlagen des System-Dynamics-Ansatzes

Grundlage für die Erstellung von kontinuierlichen dynamischen Modellen ist die Kenntnis des Zusammenhanges von Bestands- und Flussgrößen.⁴²⁵ Eine Flussgröße F ist die erste Ableitung einer Bestandsgröße B nach der Zeit.

$$F(t) = dB(t) / dt$$

Entsprechend einer diskreten Betrachtungsweise wird in Abbildung 25 dargestellt, dass die Zeitachse in gleich große Perioden Δt aufgeteilt ist und die Flussgröße zum Zeitpunkt t_n für das Intervall Δt gleich bleibt. Der Bestand, den die Flußgröße in einer Periode Δt beginnend vom Zeitpunkt t_n aufbaut ergibt sich so aus $\Delta B = F(t_n) * \Delta t$.

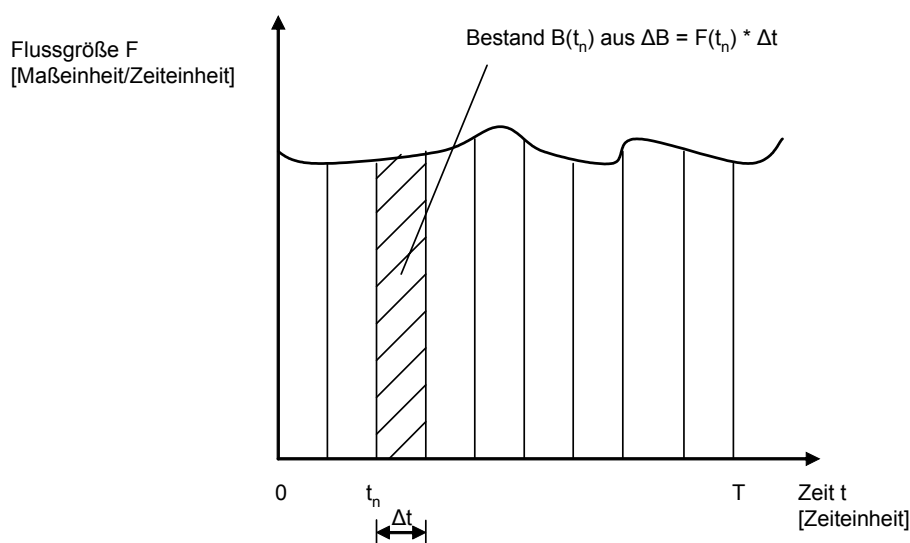


Abbildung 25: Darstellung von Bestands- und Flussgrößen⁴²⁶

Der Gesamtbestand über den Zeitraum 0 bis T ist der akkumulierte Wert der Bestandsveränderungen ΔB in den einzelnen Perioden Δt . Er stellt die gesamte Fläche unter der Kurve dar und lässt sich beschreiben durch

$$B(T) = \sum_{i=1}^m F(t_i) \Delta t$$

Diese Form der Berechnung ist nur eine Annäherung an die exakte Lösung. Mit einer Verkleinerung der Perioden gegen Null oder anders gesagt einer Erhöhung der Anzahl der Rechtecke ins Unendliche wird eine exakte Berechnung möglich. Die Bestandsgröße B ist dann das Integral der Flussgröße F und errechnet sich zum Zeitpunkt T aus

$$B(T) = \lim_{m \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^m F(t_i) \Delta t = \int_0^T F(t) dt$$

Bei der Nutzung kontinuierlicher Simulationen ist es üblich, einen Anfangsbestand A zu definieren und den Endbestand unter Berücksichtigung zweier Flussraten zu berechnen. Der Bestand zum Zeitpunkt T ergibt sich dann aus

⁴²⁵ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 232-234; Schwarz, R. (2002), S. 148-153. Vgl. insbesondere zu dem gewählten Beispiel Schwarz, R. (2002), S. 149.

⁴²⁶ Vgl. Schwarz, R. (2002).

$$B(T) = B(A) \int_A^T [\text{Zufluss}(t) - \text{Abfluss}(t)] dt$$

Bestands- und Flußgrößen werden in der System-Dynamics-Notation dargestellt, wie in Abbildung 26 gezeigt.

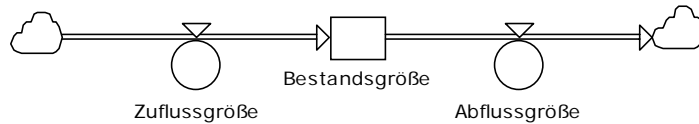


Abbildung 26: Zufluss-Abfluss-Beziehung in System-Dynamics-Notation

Dem System-Dynamics-Ansatz liegt die Hypothese zugrunde, dass sich alle Systeme durch diese und die weiteren im nächsten Unterkapitel dargestellten Grundelemente beschreiben lassen. Einzig der Wert für das Lösungsintervall zur Berechnung der Integrale, der so genannte TIMESTEP, ist eine rechentechnische Größe, zu der in der Realität kein Gegenstück existiert.⁴²⁷ Für die Ermittlung eines hinreichend genauen Wertes für den TIMESTEP wird als Faustregel angenommen, dass er sich ergibt aus⁴²⁸

$$\text{TIMESTEP} \leq \min_i \left[\frac{T_i}{2 * N} \right] \text{ mit } T = \text{Verzögerungszeit und } N = \text{Ordnungsgrad des Delays}^{429}.$$

Ziel ist die Ermittlung eines Lösungsintervalls, bei dem sich das Modellverhalten bei weiterer Verkleinerung nicht verändert.

4.2.1.4 System-Dynamics-Notation

Grundlegende Beschreibungsmittel zur Darstellung dynamischer Systeme im Rahmen des System-Dynamics-Ansatzes sind Konstanten, Flussgrößen, Bestandsgrößen sowie Verbindungen mit der in Abbildung 27 dargestellten Notation. Die symbolische Darstellung orientiert sich sowohl in bestehenden Simulationswerkzeugen als auch bei dem Entwurf von Systemen sowie der Erklärung des Systemverhaltens ohne Umsetzung in ein simulationsfähiges Modell⁴³⁰, an der ursprünglichen, von FORRESTER entwickelten, Symbolik.

System-elemente	Konstante	Variable	Zustandsgröße	unbestimmte Quelle / Senke
Darstellung (Symbol)				
Verbindungen	Informationsverknüpfung		Kontinuierlicher Fluss	
Darstellung (Symbol)				

Abbildung 27: Symbole zur Beschreibung der Elemente eines systemdynamischen Modells⁴³¹

⁴²⁷ Vgl. Milling, P. (1997), S. 7.

⁴²⁸ Vgl. Milling, P. (1997), S. 7.

⁴²⁹ Vgl. zur Definition von Verzögerungszeit und dem Ordnungsgrad von Delays im Einzelnen Kapitel 4.2.2.

⁴³⁰ Vgl. Warren, K. (2002).

⁴³¹ Vgl. Handbuch zur Software Powersim.

Als Bestandsgrößen werden in System-Dynamics-Untersuchungen die Größen verarbeitet, die bei einem so genannten „Snap-shoot-Test“ des Systems sichtbar bleiben. Bei diesem Test wird das betrachtete System, wie bei der Inventur in einem Unternehmen, einer statischen Kurzaufnahme unterzogen.⁴³² Die Zahlenwerte, die dann ermittelt werden können, kennzeichnen die Bestände. Selbstverständlich ist eine Definition von Beständen auf diese Art und Weise von dem Abstraktionsniveau abhängig, auf dem man das System betrachtet. In vielen Unternehmensmodellen, in denen das Zusammenspiel der unterschiedlichen Unternehmensfunktionen Untersuchungsgegenstand ist, wird die Produktion als ein Bestand, als so genannte „Work in Process“ (WIP), bezeichnet. Bei Fokussierung auf den Produktionsbereich ergeben sich innerhalb dessen selbstverständlich weitere Bestandsgrößen.

Quellen, Senken und Konstanten kennzeichnen stets die Grenze des Systemmodells. Quellen und Senken ermöglichen den Material- und Informationstransport über die Systemgrenze. Konstanten definieren als Elemente des Systems ebenfalls die Systemgrenze, weil sie unveränderlich sind und durch das dynamische Verhalten des Systems selbst nicht beeinflusst werden. Nur durch einen äußeren Eingriff in das System können Konstanten verändert werden. In kontinuierlichen Simulationsmodellen arbeitet man nicht mit diskreten Mengen, sondern mit Mengen je Zeiteinheit, die als Raten bezeichnet werden.⁴³³ Variablen sind Funktionen, die Zustandsgrößen, Konstanten oder andere Variablen als Argumente benutzen. Die Funktionen besitzen oft einen direkten Bezug zur fortlaufenden Simulationszeit und führen mittel- oder unmittelbar zu einer Änderung der Zustandsgrößen. Eine vollständige Systembeschreibung ergibt sich aus der Betrachtung aller Zustandsgrößen, wobei diese keine direkte Abhängigkeit untereinander besitzen. Eine Änderung von Zustandsgrößen ergibt sich aus der Berechnung der durch Variablen beschriebenen Zu- und Abflüsse zwischen vorangegangenem und aktuellem Zeitpunkt.

Konstanten, Variablen und Zustandsgrößen werden durch Verbindungen miteinander verknüpft. Dabei wird zwischen Informationsverknüpfungen und kontinuierlichen Flüssen unterschieden. Informationsverknüpfungen stellen den Hilfsvariablen die Werte der verbundenen Elemente für weitere Berechnungen zur Verfügung. Kontinuierliche Flüsse stellen die Zu- und Abflüsse von Informationen und Material der Zustandsgrößen dar. Die mögliche unterschiedliche Intensität dieser Flüsse wird durch die Darstellung eines Ventils visualisiert, welches durch eine Variable gesteuert wird. Ziel von Zu- und Abflüssen können einerseits weitere Zustandsgrößen sein. Andererseits können Quellen und Senken Ziel von Zu- und Abflüssen sein. Neben ihrer Eigenschaft, die Systemgrenze zu definieren, verfügen sie über unbegrenzte Kapazitäten sowohl für die Aufnahme als auch für die Abgabe von Informationen und Material durch die Flussgrößen. Für eine Überführung eines mit diesen Symbolen beschriebenen systemdynamischen Modells in ein mathematisches Modell und dessen Übertragung in ein simulationsfähiges Ablaufprogramm ist es notwendig, auf die Einstellung des Zeitinkrements (TIMESTEP) hinzuweisen. Der TIMESTEP beschreibt durch die Definition der Zeitinkremente in der die Raten berechnet werden die Feinheit der Veränderung der Zustandsvariablen.

⁴³² Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 199-201.

⁴³³ Vgl. Baetge, J. (1974), S. 111.

4.2.2 Darstellung von Zeitverzögerungen

4.2.2.1 Gegenstand der Darstellung von Zeitverzögerungen

Bei der folgenden Darstellung werden typische Elemente kontinuierlicher Systemmodelle erarbeitet und wesentliche Inhalte dieser Elemente teils in Modellform dokumentiert. Die ausführliche Dokumentation der Modellbestandteile erfolgt im Anhang.

Zeitverzögerungen beschreiben einen Zustand, in dem der Output eines Systems versetzt um eine bestimmte Zeit hinter dem Input zurückbleibt.⁴³⁴ In sozialen Systemen führen Aktionen grundsätzlich nicht sofort zu Reaktionen, so dass der Zeitfaktor in Simulationsuntersuchungen explizit mit einzubeziehen ist.⁴³⁵ Mit der Verzögerungszeit wird die durchschnittliche Zeit angegeben, in der Informationen und Material durch das System laufen.⁴³⁶ Der zeitverzögerte Fluss von Material, Informationen oder Finanzmitteln folgt bei Nutzung des System-Dynamics-Ansatzes grundsätzlich nicht klar Prinzipien wie FIFO (first-in-first-out) oder LIFO (last-in-first-out). Reihenfolgevertauschungen innerhalb des Systems werden als grundsätzlich möglich angenommen.

Zeitverzögerungen werden in kontinuierlichen Systemmodellen als Delays bezeichnet und können entsprechend ihres Ordnungsgrades und entsprechend der Elemente, deren zeitverzögerter Durchlauf durch ein System abgebildet wird, unterschieden werden. Auf diese Weise ist man in der Lage, die unterschiedlichsten Transformationen von Eingangsgrößen in korrespondierende Ausgangsgrößen, die in einem System auftreten können, abzubilden. Unterschiedliche Ordnungsgrade von Delays werden nachfolgend ausführlich erklärt. Bezüglich der abzubildenden Elemente bei der Untersuchung der Flexibilität von Produktionssystemen wird grundsätzlich zwischen Verzögerungen von Material und Verzögerungen von Informationen unterschieden. Die dargestellten unterschiedlichen Formen von Delays finden sich in alternativen Strukturen des Verzögerungsgliedes wieder, die ebenfalls im Folgenden vorgestellt werden sollen.

4.2.2.2 First-Order Material Delay

Abbildung 28 zeigt den Aufbau eines First-Order Material Delay. Die Abflussrate eines First-Order Material Delay verhält sich immer proportional zum Bestand des Materials. Die Abflussrate entspricht in jedem TIMESTEP dem Quotienten aus Bestand und Verzögerungszeit. Damit leert sich der Bestand im Zeitverlauf mit exponentiell sinkenden Abflussraten. Das führt dazu, dass der Bestand nach der Verzögerungszeit um 63% gesunken ist.⁴³⁷ Nach einem von der Verzögerungszeit und der Änderung der Zuflussrate abhängigen Zeitraum erreicht das System

⁴³⁴ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 411; Lyneis, J.M. (1980), S. 433.

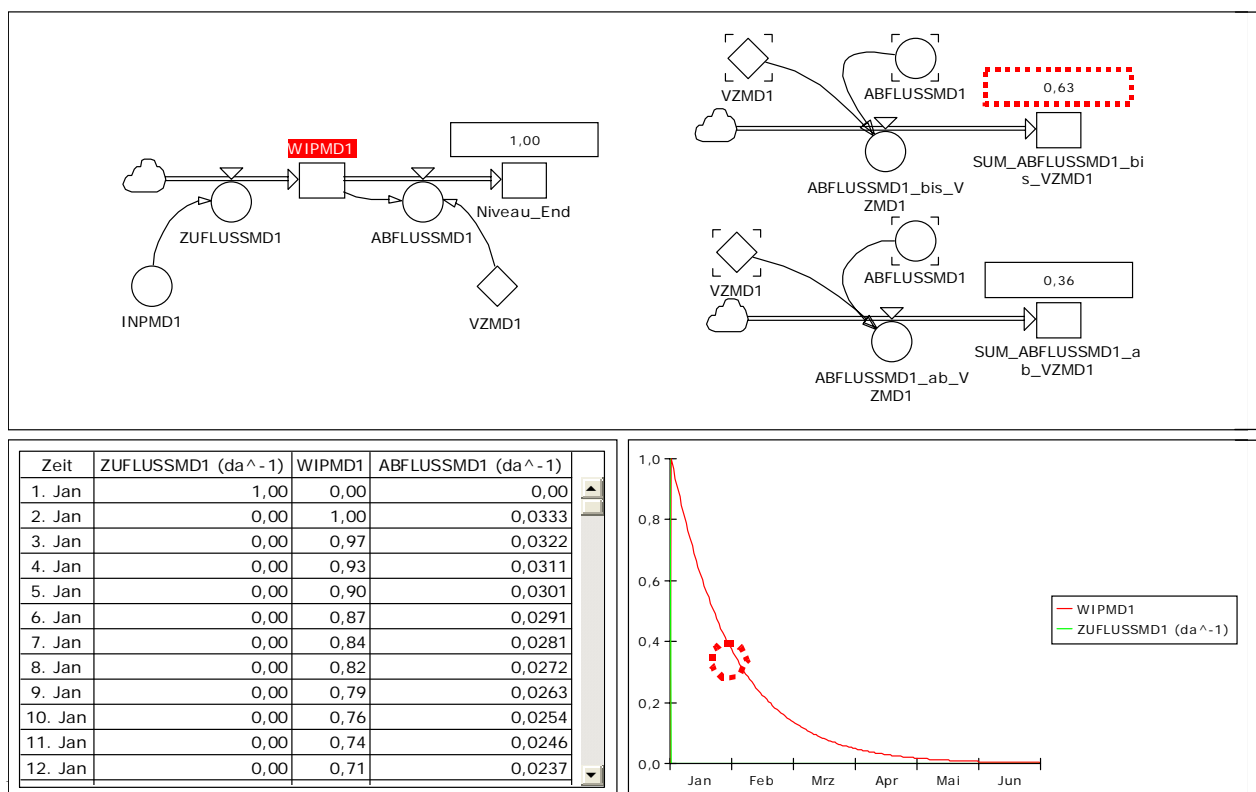
⁴³⁵ Vgl. Milling, P. (1997), S. 2.

⁴³⁶ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 414.

⁴³⁷ Nach der doppelten Verzögerungszeit sind dies 86% und nach der dreifachen Verzögerungszeit 95%. [Vgl. dazu auch Milling, P. (1997), S. 10.]

ein Fließgleichgewicht.⁴³⁸ Häufig wird der Materialbestand als Work-In-Progress (WIP) bezeichnet.⁴³⁹

Ein plastisches Beispiel für einen Materialfluss ist der Fluss von Werkstücken durch eine Produktiveinheit in Form von mehreren Montagearbeitsplätzen, bei denen Reihenfolgevertauschungen möglich sind und bei denen die Bearbeitungszeiten für einzelne Produkte in Abhängigkeit von den zu erzeugenden Eigenschaften abhängig sind. Bei einer genügend großen Menge und Variantenanzahl zu bearbeitender Produkte innerhalb einer Produktfamilie kann für die Montage eine durchschnittliche Prozesszeit angegeben werden. Es stellt sich die Frage, ob ein First-Order Material Delay geeignet ist, einen Materialfluss dieser Form abzubilden. Dargestellt ist in Abbildung 28 das Durchflussverhalten eines Inputs von einem Los Werkstücke, welche zum Zeitpunkt t_0 in die Produktiveinheit eingehen und mit einer konstanten Bearbeitungszeit „VZMD1“ von einem Monat bearbeitet werden.



Die fertig bearbeiteten Werkstücke verlassen die Produktiveinheit „Montagearbeitsplätze“, der durch den Bestand WIPMD1 charakterisiert wird, mit der Abflussrate ABFLUSSMD1 in Abhängigkeit von der aktuellen Höhe des Bestandes und der Verzögerungszeit.

⁴³⁸ Im aus didaktischen Gründen gewählten Beispiel erreicht das System sein Fließgleichgewicht bei „0“. Bei einem kontinuierlichen positiven Input, der ein vorhandenes Fließgleichgewicht übersteigen würde, passt sich das System an den durch einen neuen Input erzwungenen neuen Zustand an. Ein System ist durch seine Verzögerungszeit und seine Zuflussrate damit immer exakt beschreibbar.

⁴³⁹ Vgl. Lyneis, J.M. (1980) oder STERMAN, der die Abkürzung für den Begriff „work in process“ nutzt. [Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 713, 714.]

⁴⁴⁰ Eigene Darstellung. Vgl. zum Quellcode Anhang 6.

'ABFLUSSMD1' Auxiliary	Abflussrate Material Delay erster Ordnung	
ABFLUSSMD1 = WIPMD1/VZMD1		

Das führt bei konstanter Verzögerungszeit zu exponentiell sinkenden Fertigstellungsraten je betrachteter Zeiteinheit und dazu, dass der Großteil der Werkstücke die Montagearbeitsplätze bereits unmittelbar nach deren Eingang verlässt. In der Regel werden Produktiveinheiten nicht die Durchlaufcharakteristik eines First-Order Material Delay besitzen.⁴⁴¹ Für die Modellierung einer Produktiveinheit mit Montagearbeitsplätzen oder einer anderen beliebigen Produktiveinheit eines Produktionsunternehmens ist diese Form der Darstellung insbesondere deshalb ungeeignet, weil die Verteilung der Ankünfte der Elemente nicht dem realistischen Bild entspricht. Ein First-Order Material Delay in der eben beschriebenen Form ist jedoch Bestandteil von Material Delays höherer Ordnung, die bei der Erstellung kontinuierlicher Simulationsmodelle zur Beschreibung von Materialflüssen genutzt werden und deren Aufbau im Folgenden beschrieben werden soll.

4.2.2.3 High-Order Material Delay

Ein Delay höherer Ordnung entsteht durch die Aneinanderreihung von mehreren First-Order-Material-Delays.⁴⁴² LYNEIS empfiehlt für die meisten Industrieenanwendungen zur Abbildung der Produktion die Nutzung eines Delays der dritten Ordnung.⁴⁴³ Bei einem Delay dritter Ordnung folgt die Abflussrate dem Input wieder zeitversetzt und nach der vorgegebenen Verzögerungszeit haben lediglich 58% der Elemente das System verlassen, wie Abbildung 29 zeigt. Die Abweichung zwischen der gegebenen durchschnittlichen Verzögerungszeit und den tatsächlichen Ankünften ist demnach geringer als bei einem Delay erster Ordnung. Immer noch verlassen viele Elemente im Vergleich zur gegebenen Verzögerungszeit das System früher während wenige Elemente das System viel später verlassen. Bei der Definition von Zeitverzögerungen ist demnach nicht nur die durchschnittliche Verzögerungszeit zu definieren, sondern durch Festlegung des Ordnungsgrades auch die Verteilung der Ankünfte.⁴⁴⁴ Die Verteilung der Ankünfte beschreibt den Grad der Abweichung der Ankünfte von der durchschnittlichen Ankunfts- beziehungsweise Verzögerungszeit.

⁴⁴¹ Als zutreffende Beispiele, bei denen Materialveränderungen die Charakteristik eines First-Order Material Delay besitzen, werden chemische Prozesse und Erhitzungsprozesse in physikalischen und biologischen Systemen genannt. [Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 417.]

⁴⁴² Vgl. Lyneis, J.M. (1980), S. 433, Sterman, J.D. (2000), S. 419.

⁴⁴³ Vgl. Lyneis, J.M. (1980), S. 433. Auch STERMAN nutzt in allen Beispielmodellen seines Kapitels zur Supply Chain der Produktion sowie für die Modellbeispiele auf CD ein 3th-Order Material Delay. [Vgl. Sterman, J.D. (2000) S. 709-755.]

⁴⁴⁴ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 415.

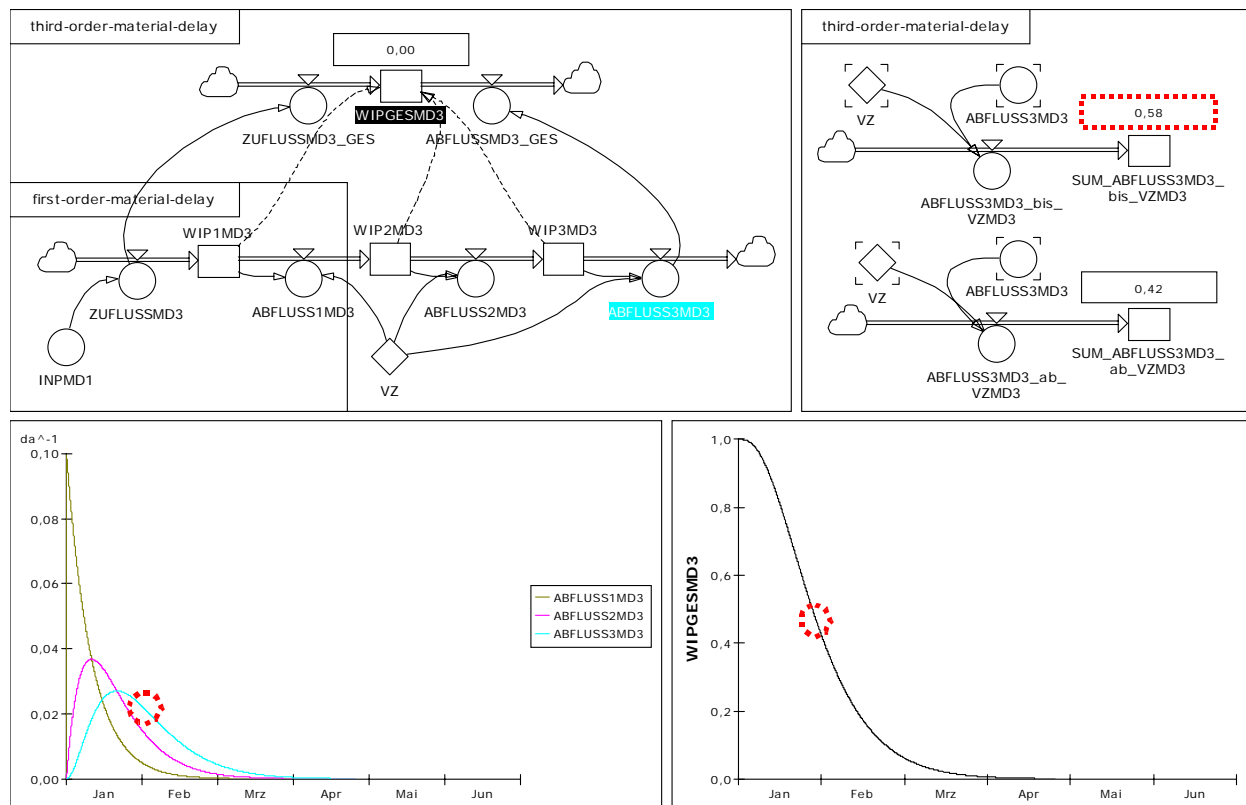


Abbildung 29: Third-Order Material Delay⁴⁴⁵

Eine weitere Erhöhung der Ordnung, beziehungsweise eine Verknüpfung weiterer Delays erster Ordnung, führt zu einer immer geringer werdenden Varianz der Ankunftszeit der einzelnen Elemente. Eine Verknüpfung von unendlich vielen First-Order Material Delays führt zu einer unendlich geringen Abweichung der einzelnen Elemente von der durchschnittlichen Ankunftszeit. Ein Delay dieser Art trägt die Bezeichnung Pipeline-Delay.⁴⁴⁶ Ein Pipeline-Delay beschreibt ein Delay unendlich hoher Ordnung und stellt eine Verzögerung dar, in der es zwischen den einzelnen Elementen zu keinen Reihenfolgevertauschungen (FIFO) und keinen Abweichungen der individuellen Prozesszeiten kommt. Die Verzögerung für jedes Element stimmt in diesem Fall exakt mit der durchschnittlichen Verzögerungszeit überein. Die Modellierung eines Fließbandes im Rahmen einer detaillierten Modellierung von Produktionsprozessen auf geringem Abstraktionsniveau ist ein klassisches Beispiel für den Einsatz eines Pipeline-Delays. Die Modellierung eines Materialflusses mit einem Pipeline-Delay führt zu einem quasi-diskreten Simulationsmodell.

4.2.2.4 Information Delays

Information Delays beschreiben Zeitverzögerungen, die bei der Übertragung von Informationen auftreten. Informationen laufen realiter als Fluss über definierte formelle und nicht definierte informelle Informationskanäle durch das Unternehmen. An der Informationsübermittlung sind mehrere Akteure beteiligt, die Informationen aufnehmen, verarbeiten, weitergeben und schließlich entsprechende Handlungen, wie zum Beispiel eine

⁴⁴⁵ Eigene Darstellung. Vgl. zum Quellcode Anhang 6.

⁴⁴⁶ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 420.

Produktionsplanerstellung, einleiten.⁴⁴⁷ Zwischen dem Auftreten eines Zustandes und dem Auslösen einer Handlungsalternative als Reaktion auf den Zustand vergeht Zeit; die so genannte Handlungszeit.⁴⁴⁸ Bei Vorhandensein einer Informationsverzögerung führt der Wechsel eines Parameters im System nicht unmittelbar zu der notwendigen Änderung anderer Variablen im System oder zur Änderung des Systemverhaltens.

Es besteht einerseits die Möglichkeit, Änderungen, die auf Grundlage einer einfachen adaptiven Erwartungsbildung erfolgen, zu beschreiben. Die Modellierung solcher Anpassungsprozesse erfolgt in Form eines First-Order Information Delays durch einfache exponentielle Glättung. Dabei ist die Erwartung abhängig vom aktuell wahrgenommenen Fehler und passt sich mit sinkenden Zuwachsraten an einen vorgegebenen Wert an. Der Fehler „FEHL“ ergibt sich damit als Differenz aus dem empfangenen Wert „INF“ und dem aktuellen Erwartungswert „EBENE_1_1th_Order“. Je größer der wahrgenommene Fehler ist, desto größer ist die Anpassungsrate. Diesen Zusammenhang beschreibt die Variable „AEN_INF“, die der Quotient aus dem aktuellen Erwartungswert „EBENE_1_1th_Order“ und dem Fehler „FEHL“ ist. Abbildung 30 zeigt die Reaktion auf einen Anstieg einer Erwartung von „0“ zum Zeitpunkt t_0 auf „2“ bei einer durchschnittlichen Verzögerungszeit von 30 Tagen. Die Anpassung an einen kontinuierlichen Input von „2“ erfolgt bei einem First-Order Information Delay mit abnehmenden Zuwachsraten (grüner Graph).

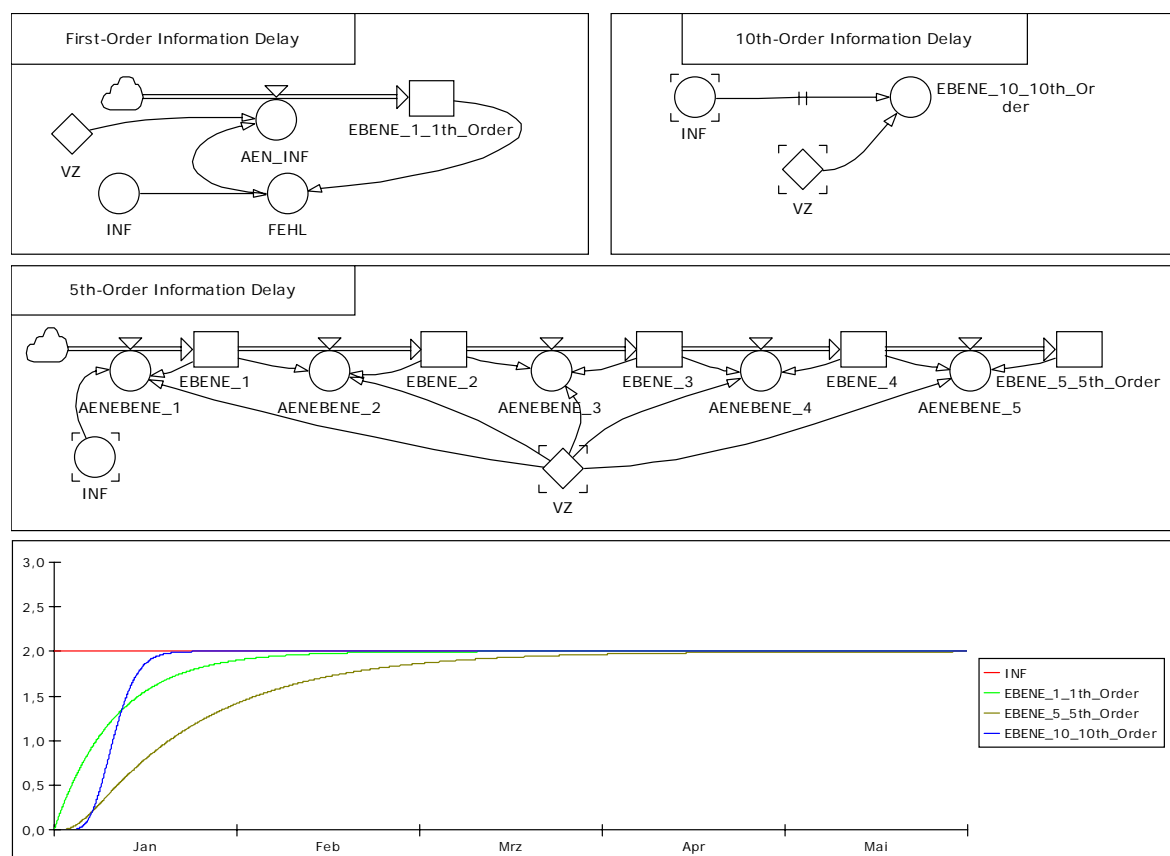


Abbildung 30: First-Order und High-Order Information Delays⁴⁴⁹

⁴⁴⁷ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 432, 433.

⁴⁴⁸ Vgl. Kapitel 2.1.3.3.

⁴⁴⁹ Eigene Darstellung. Vgl. zum Quellcode Anhang 6.

Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit der Modellierung von Informationsübertragungsprozessen. Bei der Informationsübertragung ist es ebenso möglich, dass Informationen den Empfänger nicht sofort erreichen und erst nach der Verzögerungszeit zu einer Reaktion des Erwartungswertes führen. Anders gesagt ist Zeit für administrative Prozesse einzuplanen. Erst nach Verstreichen dieser wird beim Empfänger eine Reaktion ausgelöst. Diese Art von Informationsverarbeitungsprozessen wird durch Information Delays höherer Ordnung modelliert.⁴⁵⁰ Diese entstehen durch Aneinanderreihung von Information Delays erster Ordnung. Die ausführliche Darstellung der einzelnen Delays eines Informationsdelays kann durch eine zusammenfassende Notation vereinfacht werden. Dies wird beispielhaft an einem Informationsdelay zehnter Ordnung in Abbildung 30 gezeigt. Der Wert für die Information, die übertragen wird, ergibt sich danach aus

Definition A: EBENE_20_20th_Order

'EBENE_20_20th_Order' Auxiliary	Wert Information Delay 20igster Ordnung	
DELAYINF(INF;VZ;10;0)		

Mit zunehmendem Ordnungsgrad nimmt der Anstieg zu. Bei Delays zur Darstellung von Informationsverzögerungen wird der Erwartungswert durch den Bestand charakterisiert.

Wenn angenommen wird, dass bei der Übertragung von Informationen keine Fehler auftreten und, dass eine vollständige Anpassung an einen Erwartungswert beim Empfänger keine Zeit kostet, dann kann eine Verzögerung bei der Informationsübertragung als Pipeline-Delay abgebildet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Übermittlung eines Berichtes an einen Empfänger, der sofort zu einer entsprechenden Reaktion des Empfängers führt. In den regelmäßig auftretenden Fällen der Informationsübermittlung und -verarbeitung, bei denen es zu Zeitverzögerungen und Verlusten bei der Informationsübertragung kommen kann und zunächst Erwartungswerte gebildet werden, werden Information Delays unterschiedlicher Ordnung zur Modellierung der Informationsübertragungsprozesse genutzt.

4.2.3 Darstellung von Regelkreisen

4.2.3.1 Steuerung und Regelung

Elementare Prinzipien der Kybernetik sind die Prinzipien der Steuerung und Regelung. „Das Regeln, die Regelung, ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine Größe, die Regelgröße (zu regelnde Größe), erfasst, mit einer anderen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossene Wirkungsablauf, bei dem die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst.“⁴⁵¹ Steuerung beinhaltet das gezielte Eingreifen in einen Prozess, um eine Zustandsvariable auf einem bestimmten Niveau zu stabilisieren oder auf ein bestimmtes vorgegebenes Niveau zu bringen.⁴⁵²

⁴⁵⁰ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 432.

⁴⁵¹ DIN 19226.

⁴⁵² Vgl. Niemeyer, G. (1977), S. 159.

Die Steuereinheit hat im Rahmen der Steuerung die Aufgabe, Störungen unmittelbar bei ihrem Auftreten entgegenzuwirken. Die Steuereinheit wandelt die aufgrund der Störung zu erwartende Veränderung der Zustandsgröße in eine Stellgröße um, welche die erwartete Änderung kompensieren soll. Das Verhalten der zu steuernden Größe selbst wird bei der Steuerung nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund muss bei der Steuerung von Systemen davon ausgegangen werden, dass vollkommene Information über das System mit deterministischen Ursache-Wirkungszusammenhängen der Elemente vorliegt sowie, dass alle Störgrößen und Störungen bekannt sind.⁴⁵³ Diese Voraussetzungen sind jedoch realiter bei stochastischen Zusammenhängen nicht gegeben, so dass zur Lenkung dynamischer Produktionssysteme eine Überwachung der Prozessergebnisse notwendig ist.

Regelung beschreibt genau diese Überwachung des Ergebnisses von Prozessen, die dazu führt, dass bei einer Abweichung des Ist-Wertes vom Soll-Wert entsprechende Korrekturanweisungen ausgelöst werden.⁴⁵⁴ In Produktionssystemen erfolgt diese Überwachung in der Regel EDV-gestützt mittels Betriebsdatenerfassung.⁴⁵⁵ Die Darstellung des Blockschaltbildes in Abbildung 31 wird als Regelkreis mit Rückkopplung bezeichnet. Mit gestrichelter Linie wird eine Regelung mit Vorkoppelung angedeutet, welche den Reglereingriff in das System um einen Steuereingriff ergänzt.

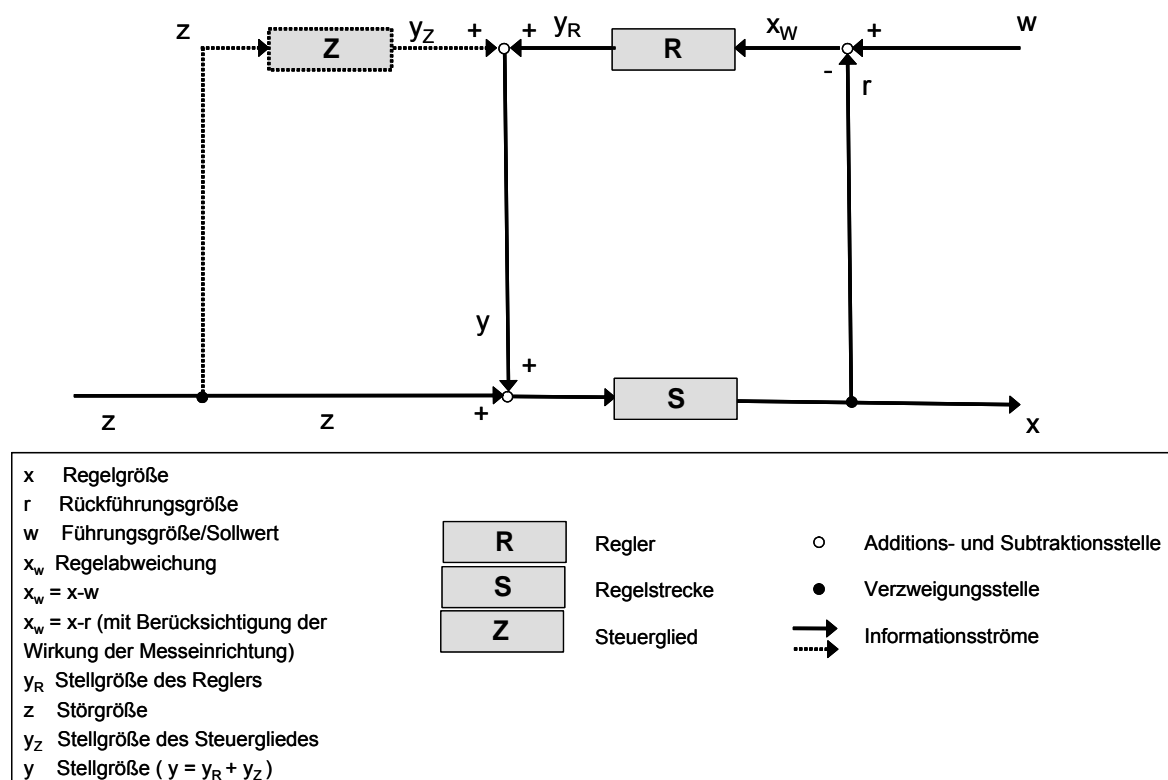


Abbildung 31: Blockschaltbild eines Regelkreises⁴⁵⁶

⁴⁵³ Vgl. Baetge, J. (1974), S. 26, 27.

⁴⁵⁴ Vgl. Baetge, J. (1974), S. 27.

⁴⁵⁵ Vgl. Milberg, J.; Burger, C. (1991). Es wird auf die Nähe zwischen Produktionsregelung und der Anwendung von Simulationsverfahren hingewiesen. Vgl. auch die Ausführungen zum operativen Produktionsmanagement in 2.2.1.4 und zur Identifikation internen Flexibilitätsbedarfs aufgrund interner Dynamik in Kapitel 3.2.1.

⁴⁵⁶ Vgl. Baetge (1974).

Der gesamte dargestellte Regelkreis wird als Regelkreis mit Störgrößenaufschaltung bezeichnet. Damit die Steuerung wirksam funktioniert, muss das System der Regelstrecke im Sinne obiger Annahmen wieder vollständig transparent und deterministisch sein. Die klassischen Verfahren der Produktionssteuerung setzen dies für den Produktionsbereich als Annahme voraus. Im Umkehrschluss verfügt ein ideales Produktionsplanungs- und Steuerungssystem über das Vermögen, sämtliche Umweltanforderungen zu verarbeiten und ein geeignetes Flexibilitätpotential zu besitzen, um Maßnahmen an das Produktionssystem weiterzuleiten, die es in die Lage versetzen, auf die Störgrößen adäquat zu reagieren. Bei dem Aufbau der Steuerungsstrukturen wird prognostiziert, welche Abweichung zu erwarten ist und wie das System darauf reagieren kann. Jede ungeplante Störung erfordert jedoch eine Regelung mit Rückkopplung. Störungen in diesem Sinne sind Umweltveränderungen, die bei der Planung des Produktionssystems nicht berücksichtigt werden konnten oder nicht offensichtlich waren. Die Störgrößen sind in diesem Fall vorher nicht eindeutig identifizierbar und treffen ohne die Möglichkeit einer Prognose und einer Vorbereitung des Unternehmens den Produktionsbereich. Die Produktionsplanung und -steuerung steht vor der Aufgabe, das Produktionssystem durch Regelungsmechanismen anzupassen. Das Ergebnis des Lenkungs Vorganges, der durch die Steuerung realisiert wurde, wird bei der Regelung berücksichtigt. Die in der Praxis übliche Begriffsbildung von Planung und Steuerung des Produktionsbereichs ist damit im Sinne der Regelungs- und Steuerungstechnik inkonsistent⁴⁵⁷, wird aber in der vorliegenden Arbeit auch im Sinne der Regelung von Produktionssystemen genutzt.

4.2.3.2 Regelung in kontinuierlichen Systemmodellen

Der Systemtheorie, auf die der System-Dynamics-Ansatz gründet, liegt die Vorstellung zugrunde, dass das Verhalten sozio-ökonomischer Systeme durch Rückkopplungen zwischen den Systembestandteilen, bestimmt wird. Eine elementare Eigenschaft systemdynamischer Modelle ist deshalb die Möglichkeit der Darstellung von Rückkopplungsbeziehungen. Dabei gibt die Zustandsgröße Auskunft über den Systemzustand und kann durch Korrekturhandlungen über die Flussgröße verändert werden. Eine funktionale Verbindung zwischen Zustands- und Flussgröße ermöglicht einen Regeleingriff in das System, wie Abbildung 32 zeigt.

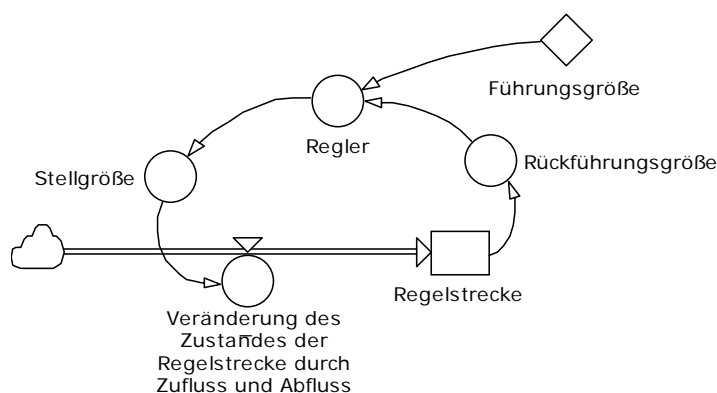


Abbildung 32: Vereinfachter Regelkreis in System-Dynamics Notation⁴⁵⁸

⁴⁵⁷ Vgl. Zäpfel, G. (1996), Sp. 1392; Vgl. Wiendahl, H.-P. (1997), der sich mit Fertigungsregelung beschäftigt.

⁴⁵⁸ Eigene Darstellung.

Die Regelstrecke kann durch eine Zustandsgröße charakterisiert werden. Informationen über den Systemzustand werden durch eine Rückführungsgröße erfasst. Durch den Vergleich der Rückführungsgröße mit einer Führungsgröße ist es möglich, eine Zielabweichung festzustellen, die im Regler durch entsprechende Algorithmen beziehungsweise die Auswahl einer geeigneten Handlungsalternative in eine Stellgröße überführt wird. Die Stellgröße führt zu einer Änderung der vorhandenen Zu- und Abflüsse der Regelstrecke. Die Stellgröße bewirkt eine „Veränderung des Zustandes der Regelstrecke durch Zufluss und Abfluss“, die zu der regulären Veränderung hinzukommt. Dieser steuernde Eingriff soll zu einer Anpassung des Systemzustandes der Regelstrecke an die Führungsgröße führen.

Ein ökonomisches Beispiel für eine Regelstrecke ist ein Rohmateriallager. Durch eine Rückführungsgröße wird der Systemzustand des Lagers, der Lagerbestand, weitergemeldet und mit der Führungsgröße, dem Solllagerbestand verglichen. Mögliche Zielabweichungen werden über die Stellgröße auf die normalen Mechanismen zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit der Regelstrecke aufgesetzt und führen beispielsweise zu erhöhten oder geringeren Bestellungen beim Lieferanten.

4.2.3.3 Steuerung mittels Ableiten von Trends

Im Produktionsbereich existieren nicht nur reaktive Anpassungsprozesse. Vielmehr werden Betriebsmittel- und Personalkapazitäten sowie das Produktionsprogramm im Voraus geplant. Externe Änderungen führen auf diese Weise proaktiv zu notwendigen Anpassungsprozessen. Dazu wird einerseits auf Vergangenheitsdaten zurückgegriffen und diese werden in die Zukunft projiziert. Auf der anderen Seite werden zukünftige Entwicklungen aufgrund von Änderungen externer Parameter abgeschätzt. Im ersten Fall, bei einer Extrapolation von Vergangenheitswerten in die Zukunft, wird die Zeitstabilitätshypothese vorausgesetzt. Diese besagt, dass die Rahmenbedingungen, die zur Zeitreihe geführt haben, in der Zukunft weiterhin Gültigkeit besitzen. Im Folgenden wird eine Trendfunktion erarbeitet, welche dazu geeignet ist, die Abbildung von Steuerungseingriffen im Rahmen von Anpassungsprozessen zu ermöglichen.

Eine einfache exponentielle Glättung lässt sich für die Vorhersage und Bestimmung von Trends nur schlecht nutzen, weil der Output immer hinter dem Input zurückbleibt.⁴⁵⁹ Drei Voraussetzungen sind zu berücksichtigen, um eine zuverlässige Vorhersage und Bestimmung von Trends zu ermöglichen.⁴⁶⁰ Zunächst ist es notwendig, aktuelle Daten zur Verfügung zu stellen. Beachtet werden muss dabei, dass die Datengrundlage oft älter ist, da für deren Bereitstellung Zeit benötigt wird. Danach ist zu berücksichtigen, dass die Daten durch saisonale und andere temporäre Einflussfaktoren um den langfristigen Trend schwanken können. Zur Erstellung einer validen Trendvorhersage, sind diese kurzfristigen Schwankungen zu eliminieren. Des Weiteren ist eine Entscheidung darüber zu fällen, welcher Zeithorizont bei der Bewertung von Vergangenheitsdaten genutzt werden soll. Der Zeithorizont ist dabei davon abhängig, wofür der Trend verwendet werden soll.

⁴⁵⁹ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 633. Es besteht die Gefahr, dass ein „steady state error“ erzeugt wird.

⁴⁶⁰ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 633, 634.

Die Abbildung von Wachstumserwartungen und die Trendfortschreibung erfolgt in System-Dynamics Modellen regelmäßig durch die Modellierung einer Trend-Funktion.⁴⁶¹ STERMAN sieht in der Trend-Funktion mehr als ein mathematisches Konstrukt zur Fortschreibung einer Zeitreihe.⁴⁶² Demnach charakterisiert die Trend-Funktion eine Verhaltensbeschreibung der involvierten Akteure bei der Ermittlung von Trends und basiert auf dem Grundmodell der adaptiven Erwartungsbildung. Nach der Interpretation von STERMAN wird mit einem First-Order Information Delay zunächst die Anpassung der Erwartungen der Akteure an die auftretende Information abgebildet. Diese Anpassung erfährt Zeitverzögerungen durch Messung und Übertragen der Informationen und eliminiert kurzfristige Schwankungen der Inputvariable. Die auf diese Weise empfangene Information wird danach mit den langfristigen Erfahrungswerten verglichen, die der Zeitreihe durch ein zweites First-Order Information Delay entnommen werden. Durch dieses erfahren die empfangenen Daten eine weitere exponentielle Glättung mit einer entsprechend längeren Anpassungszeit. Die zweite Anpassungszeit beschreibt den historischen Horizont relevanter Informationen für den Vorhersageprozess. Ergebnis der Gegenüberstellung von kurz- und langfristigem Trend ist das erwartete prozentuale Wachstum der Inputvariable pro Periode. Für die Länge der Anpassungszeiten für die drei Information Delays werden durch STERMAN keine klaren Vorgaben gemacht sondern vielmehr globale Hinweise gegeben.⁴⁶³ Die Anpassungszeit für das erste First-Order Information Delay, welches die notwendige Zeit für das Empfangen der Informationen beschreibt, ist demnach abhängig von den Mess- und Berichtszeiten sowie den Schwankungen der Inputvariable und den Glättungsaktivitäten der Akteure. Die zweite Anpassungszeit ist abhängig vom Zweck der Vorhersage und sollte umso länger sein, je länger der Vorhersagezeitraum und damit der historisch betrachtete Zeithorizont ist.

LYNEIS unterstellt den Akteuren die Nutzung des mathematischen Konstrukts, das der Trendfunktion zu Grunde liegt, unreflektiert und ohne weitere Interpretation. Die entsprechende analytische Vorgehensweise für den jeweils abgebildeten Sachverhalt wird im Folgenden skizziert.⁴⁶⁴ Mit dem ersten First-Order Information Delay verfolgt LYNEIS das Ziel, kurzfristige Schwankungen der Inputvariable zu eliminieren, während das zweite First-Order Information Delay, ebenso wie bei STERMAN, dem Schaffen einer Referenzbedingung zur Ermittlung des Trends dient.⁴⁶⁵ LYNEIS definiert eine Überwachungszeit, mit der der historische Horizont der Betrachtung beschrieben wird, und legt für das erste First-Order Information Delay eine Verzögerungszeit in Höhe eines Anteils von 40% der Überwachungszeit fest, während das zweite eine Verzögerungszeit in Höhe eines Anteils von 60% erhält.⁴⁶⁶

Die Höhe der Verzögerungszeiten der Delays hat Auswirkungen auf die Glättung der jeweiligen Inputvariablen und damit auf den Verlauf des indizierten Trends. Weil jedoch der Verlauf der Inputvariable variieren kann und sich deren Schwankungen in Häufigkeit und Ausmaß unterscheiden können, sind für die Verzögerungsvariablen Werte zu wählen, die dem

⁴⁶¹ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 634; Lyneis, J.M. (1980), S. 120. Es wird vereinfachend unterstellt, dass Glättungsfunktionen geeignet sind, Vorhersagen zu modellieren. [Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 716.]

⁴⁶² Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 634 ff.

⁴⁶³ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 637.

⁴⁶⁴ Vgl. Lyneis, J.M. (1980), S. 120 ff.

⁴⁶⁵ Vgl. Lyneis, J.M. (1980), S. 141; Sterman, J.D. (2000), S. 635, 636.

⁴⁶⁶ Vgl. Lyneis, J.M. (1980), S. 141, 142.

jeweiligen Anwendungsfall entsprechen und einen passenden Trendverlauf hervorrufen. In der vorliegenden Arbeit erfolgt die Dimensionierung der Verzögerungszeiten deshalb in Abhängigkeit von der vorliegenden Problemstellung ohne Definition einer Überwachungszeit. Die Bestimmung der Verzögerungszeiten erfolgt mittels Anpassens der Werte durch Versuche mit historischen Daten oder vorliegenden Informationen über zukünftige Entwicklungen. Ziel ist eine realitätsnahe Abbildung des Modellverhaltens.

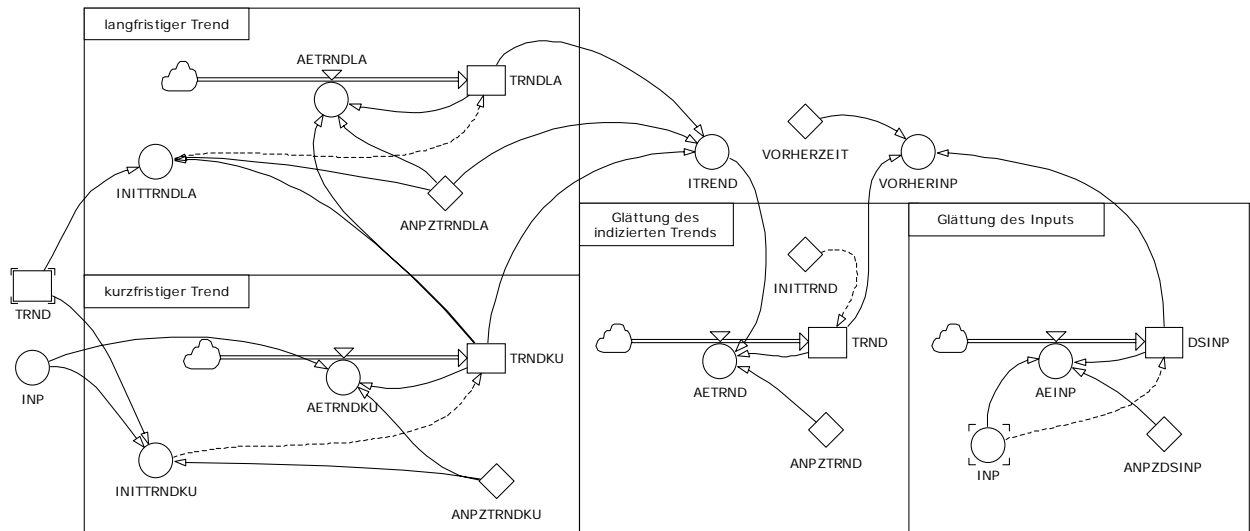


Abbildung 33: Trend-Funktion⁴⁶⁷

Zunächst erfolgt eine exponentielle Glättung der Inputvariablen durch die kürzere Verzögerungszeit „ANPZTRNDKU“. Der Erwartungswert des ersten First-Order Information Delays „TRNDKU“ ist Inputvariable für das zweite First-Order Information Delay mit der längeren Anpassungszeit, welches im Ergebnis den Wert „TRNDLA“ ermittelt. „INITTRNDKU“ und „INITTRNDLA“ sind die Initialwerte dieser Erwartungswerte.

Bei der Ermittlung des Trends selbst bedienen sich LYNEIS und STERMAN derselben Notation.⁴⁶⁸ Der indizierte Trend „ITRND“ ergibt sich aus

Definition A: ITRND

'ITRND' Auxiliary	Indizierter Trend	
$ITRND = ((TRNDKU - TRNDLA) / TRNDLA) / ANPZTRNDLA$		

Bei der Verwendung des indizierten Trends finden sich bei LYNEIS und STERMAN unterschiedliche Vorgehensweisen in der Form, dass LYNEIS ihn sofort weiternutzt, während STERMAN ihn in einem weiteren First-Order Information Delay glättet.⁴⁶⁹ Dieses dritte First-Order Information Delay steht bei STERMAN für die Zeit, die Entscheidungsträger benötigen, um die Tendaussage in Entscheidungen umzusetzen. In der vorliegenden Arbeit entspricht er dem Bestand TRND. Die Anpassungszeit zur Entscheidungsumsetzung wird dabei als subjektiv und von der Erfahrung und den Erinnerungen der Entscheidungsträger abhängig angenommen.

⁴⁶⁷ Eigene Darstellung. Vgl. zum Quellcode Anhang 6.

⁴⁶⁸ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 634; Lyneis, J.M. (1980), S. 141, auxiliary 1.

⁴⁶⁹ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 634, 635; Lyneis, J.M. (1980), S. 124, 125.

LYNEIS glättet die Inputvariable ebenfalls mit einem First-Order Information Delay und definiert den Vorhersagewert „VORHERINP“ als

Definition A: ITRND

'VORHERINP' Auxiliary	ermittelter Trend	
VORHERINP = (1+VORHERZEIT*TRND)*DSINP		

Den Vorhersagezeitraum VORHERZEIT definiert LYNEIS⁴⁷⁰ als die Summe aus der Zeit zum Glätten der Inputvariable zur Ermittlung der durchschnittlichen Nachfrage.⁴⁷¹ Der Zeitraum ist damit unabhängig von der Trendfunktion und der Durchlaufzeit durch den Produktionsprozess.

Entscheidend für eine Festlegung der Anpassungszeiten der Vorhersagefunktion ist das Ziel der Modellierung, die realitätsnahe Abbildung eines Systems in einem Modell. Die Anpassungszeiten sind für die individuelle Problemstellung so zu definieren, dass diesem Ziel gefolgt wird.

4.2.4 Sonstige elementare Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle

4.2.4.1 Abbildung von Entscheidungen

Die Modellierung von Entscheidungen unternehmensinterner Akteure ist ein elementarer Bestandteil der Erstellung kontinuierlicher Systemmodelle. Entscheidungen basieren grundsätzlich auf Informationen und Regeln zur Verarbeitung dieser Informationen. Ein unternehmensinterner Akteur fasst demnach im Verlauf der Entscheidungsfindung Entschlüsse basierend auf Zielen und Wertvorstellungen sowie aus faktischen Informationen aus dem System und dessen Umwelt.⁴⁷²

STERMAN spricht sich für eine strikte Unterscheidung aus, einerseits zwischen den Entscheidungsregeln, die dem Systemmodell durch den gegebenen Quellcode inhärent sind, und andererseits den Entscheidungen, die schlussendlich das Ergebnis der Anwendung eines Bündels von Entscheidungsregeln und weiterer Informationen sind.⁴⁷³ Diese Form der Unterscheidung wird notwendig, weil Entscheidungen realiter auf dem mentalen Modell des Entscheidungsträgers basieren. Dieses beinhaltet neben klar definierten Entscheidungsregeln auch eine Vielzahl weiterer Informationen aus anderen Bereichen. Die dem Systemmodell inhärenten Entscheidungsregeln sind Ergebnis einer subjektiven Auswahl durch den Modellierer und basieren auf Vermutungen über den Rationalitätsgrad des Entscheidungsträgers.⁴⁷⁴ Hinzu kommt, dass Beteiligte an Entscheidungsprozessen nicht zwingend auf Basis kongruenter Werthaltungen dieselben Ziele anstreben.⁴⁷⁵ In betriebswirtschaftlichen Problemlösungsprozessen kommen qualitativ-verbale Informationen, zum Teil vage formulierte Aussagen, Zielvorstellungen und Restriktionen zum Einsatz, so dass die Entscheidungsprämissen oft nicht in Form

⁴⁷⁰ Vgl. Lyneis, J.M. (1980), S. 124.

⁴⁷¹ Vgl. Lyneis, J.M. (1980), S. 125, auxiliary 15.

⁴⁷² Vgl. Milling, P. (1982), S. 716.

⁴⁷³ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 514, 515.

⁴⁷⁴ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 515.

⁴⁷⁵ Vgl. Milling, P. (2002), S. 15.

mathematischer Funktionen und numerischer Werte vorliegen.⁴⁷⁶ Aus diesen Gründen können Modelle zur Abbildung sozio-ökonomischer Sachverhalte kaum zur selbständigen Entscheidungsfindung an Stelle der Entscheidungsfindung durch unternehmensinterne Akteure genutzt werden. Systemmodelle dieser Art ergänzen vielmehr die heuristisch starken mentalen Schlussfolgerungsprozesse⁴⁷⁷ und finden bei Akteuren als wirksame Unterstützung der Entscheidungsfindung bei der Gestaltung von Systemen Anwendung.⁴⁷⁸

Eine Form selbständiger EDV-basierter Entscheidungen ohne weitere menschliche Einflussnahme findet sich vorrangig in maschinellen Prozessen bei Vorliegen definierter Prozessparameter und Regelungsmechanismen, wie beispielsweise in Anlagensteuerungen.

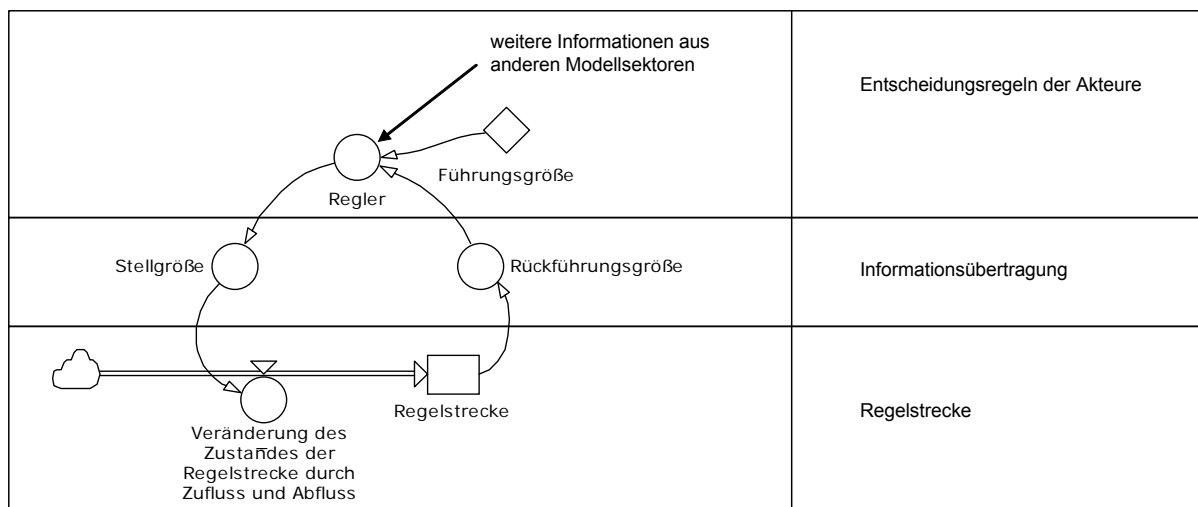


Abbildung 34: Prinzipdarstellung der Abbildung von Entscheidungen in System-Dynamics-Notation⁴⁷⁹

Die inhaltliche Nähe zwischen einem Regelkreis und der Abbildung von Entscheidungen basiert auf dem zentralen Element von System-Dynamics Modellen, der Rückkopplungsbeziehung. Es wird gefordert, alle verhaltensrelevanten Regelkreise bei einer Modellerstellung zu berücksichtigen.⁴⁸⁰ Die Regelungsanweisungen entsprechen in der Regel einer Verknüpfung einfacher mathematischer Operatoren.⁴⁸¹ So ist es möglich, unscharfe Zusammenhänge zu approximieren und damit komplexe Zusammenhänge auf einen numerisch festgelegten Wert zu reduzieren. Es können also klassische mathematische Operationen genutzt werden, um Entscheidungslogiken abzubilden. Dieses Vorgehen wird kritisiert, da Entscheidungsträgern einerseits ein Unbehagen bezüglich der Aussagefähigkeit des Systemmodells unterstellt wird und andererseits ein tatsächlicher Verlust an Aussagefähigkeit durch die Behandlung von „zu Scheinproblemen degenerierte(n) Fragestellungen“⁴⁸² angezeigt wird.

⁴⁷⁶ Vgl. Milling, P. (1982), S. 716.

⁴⁷⁷ Vgl. Milling, P. (2002), S. 18.

⁴⁷⁸ MILLING bezeichnet die Systemmodelle als Intelligenzverstärker. [Vgl. Milling, P. (1987), S. 43.]

⁴⁷⁹ Eigene Darstellung.

⁴⁸⁰ Vgl. Milling, P. (2002), S. 21.

⁴⁸¹ Vgl. Apel, H. (1979), S. 84, 85.

⁴⁸² Milling, P. (1982), S. 718.

STERMAN stellt fünf Kriterien vor, die bei der Modellierung von Entscheidungen zu beachten sind.⁴⁸³

- Demnach sind im Modell nur Eingangsinformationen zu verarbeiten, die dem Entscheidungsträger auch bei der realen Problemstellung aktuell zugänglich sind.
- Die Entscheidungsregeln im Modell sollten kein vorschriftsmäßiges Vorgehen oder Wunschvorstellungen davon beinhalten, sondern sich am realen Verhalten der Entscheidungsträger in Entscheidungsprozessen orientieren.
- Bei der Modellerstellung sollten erwünschte Zustände, welche die Zielvorstellung des Entscheidungsträgers treffen und mit seinem mentalen Modell korrespondieren, vom aktuellen Systemzustand abgegrenzt werden. Die Entscheidungsträger sollten durch die Entscheidungsregeln beschreiben, wie sie auf Disparitäten zwischen dem erwünschten und dem vorhandenen Zustand reagieren. Entscheidungsträger wählen auf diese Weise notwendige Handlungsalternativen zur Erreichung des gewünschten Zustandes aus, während die Änderung des Systemzustandes des realen Systems durch Zeiterzögerungen, kurzfristige Ressourcenengpässe oder andere Einschränkungen nicht zeitgleich erfolgt.
- Die Entscheidungsregeln sollten robust und unter extremen Bedingungen anwendbar sein.
- Bei der Erstellung von Systemmodellen kann nicht vom Vorhandensein von Gleichgewichtszuständen ausgegangen werden. Die Existenz und Stabilität möglicher Gleichgewichtszustände resultiert aus der Interaktion der einzelnen Entscheidungsregeln und erzeugt jeweils ein anderes charakteristisches Systemverhalten. Durch dieses Systemverhalten können im Rahmen der Analyse Entscheidungsregeln aufgedeckt werden, die instabiles Systemverhalten hervorrufen.

STERMAN begründet die Darstellung der trivialen Kriterien damit, dass derzeit viele Systemmodelle diese Prinzipien übertreten, von vollständigen, detaillierten Informationen ausgehen und auf idealisierte Vorstellungen aufsetzen, wie zum Beispiel darauf, dass der Output eines Unternehmens von dessen Produktionsfunktion bestimmt wird.⁴⁸⁴

⁴⁸³ Vgl. für die folgend dargestellten Kriterien Stermann, J.D. (2000), S. 517.

⁴⁸⁴ Nicht zuletzt aufgrund dieser historisch gewachsenen, vereinfachenden Annahmen von Wirkungszusammenhängen, werden zukünftig unter anderem neuere Vertriebskonzepte, wie das Revenue Management, stärkeres Gewicht erlangen.

4.2.4.2 Darstellung nicht-linearer Abhängigkeiten

Eine zweite Möglichkeit zur quantitativen Abbildung qualitativer Inhalte jenseits der im letzten Unterkapitel vorgestellten binären Entscheidungslogik bietet das Bestreben der Abstimmung mathematischer Konzepte auf die realen Sachverhalte.⁴⁸⁵ Dazu ist die dynamische Abbildung nichtlinearer Beziehungen, wie sie regelmässig zur Beschreibung von Zusammenhängen in Unternehmen geeignet sind, notwendig.⁴⁸⁶ Ziel ist es, nichtlineare Zusammenhänge durch Verwendung so genannter Tabellenfunktionen ohne aufwändige Funktionen zu repräsentieren.⁴⁸⁷ Tabellenfunktionen sind Hilfsfunktionen, welche die Beziehungen zwischen abhängigen und unabhängigen Variablen basierend auf Beobachtungen oder Annahmen stützweise darstellen.⁴⁸⁸ Die in konstanten Zeitabständen vorgegebenen Werte werden während der Simulation linear interpoliert. Dabei wird jedem Wert der unabhängigen Variable genau ein Wert der abhängigen Variable zugeordnet.

Für die Vorgehensweise beim Formulieren von Table Functions können klare Richtlinien aufgestellt werden, die im Folgenden anhand eines Beispiels vorgestellt werden sollen.⁴⁸⁹ Die Erstellung von Table-Functions gründet sich auf ein Wechselspiel zwischen Systemmodell und Modellentwickler.⁴⁹⁰ Als Beispiel dient die reale Anpassung der Kapazitätsnutzung einer vorhandenen Kapazität an eine steigende Kapazitätsnachfrage. Die Ausbringungsmenge je Zeiteinheit wird im Beispiel und in der weiteren Arbeit als Produktionsrate bezeichnet.

Zunächst sind der Input, die unabhängige Variable, und der Output, die abhängige Variable, zu normalisieren. Mit der Normalisierung wird das Ziel verfolgt, Input und Output einer Funktion als dimensionslose Verhältniszahlen darzustellen. Der Kapazitätsnutzungsdruck „KAPNUTZDRUCK“ x als Input ergibt sich im Beispiel in Abbildung 35 aus dem Verhältnis von erwünschter Produktionsrate „PROD_ERW“ und dem Produkt aus vorhandener Kapazität „KAP_VORH“ sowie dem Anteil realer Kapazitätsnutzung „KAPNUTZ_NOR“ bei Normalbelastung. Im Beispiel wird von einer normalen Kapazitätsnutzung von 80% der vorhandenen Kapazitäten ausgegangen. Der Output y , die Kapazitätsnutzung, wird ebenso als eine dimensionslose Verhältniszahl angegeben. Bei vollständiger Nutzung der vorhandenen Kapazität ist der Wert der Kapazitätsnutzung im Beispiel 0,8.

⁴⁸⁵ Vgl. Milling, P. (1982), S. 718.

⁴⁸⁶ Vgl. Milling, P. (1982) S. 726. MILLING betont dies an dieser Stelle im Zusammenhang der Modellierung von Entscheidungen in kontinuierlichen Systemmodellen auf Basis der Theorie unscharfer Mengen. MILLING weist darauf hin, dass das notwendige Aufstellen von Zugehörigkeitsfunktionen schwierig zu belegen und entsprechend angreifbar ist. Möglichkeiten der Fuzzifizierung, des Entwurfs linguistischer Regeln für die Stellgrößen und der Defuzzifizierung zur Modellierung linguistischer Regeln sollen nicht Betrachtungsgegenstand dieser Arbeit sein. Ohne Vertiefung der theoretischen Herausforderungen einer Verknüpfung des systemdynamischen Ansatzes und der Fuzzy-Technologie beschränkt man sich deshalb in dieser Arbeit auf die Darstellung nichtlinearer Zusammenhänge. Es wird lediglich auf das in diesem Zusammenhang existierende weite Forschungsfeld hingewiesen.

⁴⁸⁷ Vgl. Apel (1979; S. 85. Es wird die Auffassung vertreten, dass funktionale Zusammenhänge ökonometrisch geschätzt werden sollten, um auf die manipulativ extrem handhabbaren Tabellenfunktionen verzichten zu können und den Wert der Analyse zu erhöhen.

⁴⁸⁸ Vgl. Niemeyer, G. (1977), S. 250.

⁴⁸⁹ Vgl. zur Vorgehensweise und zum Beispiel Stermann, J.D. (2000), S. 553 ff..

⁴⁹⁰ Vgl. Milling, P. (1987), S. 43.

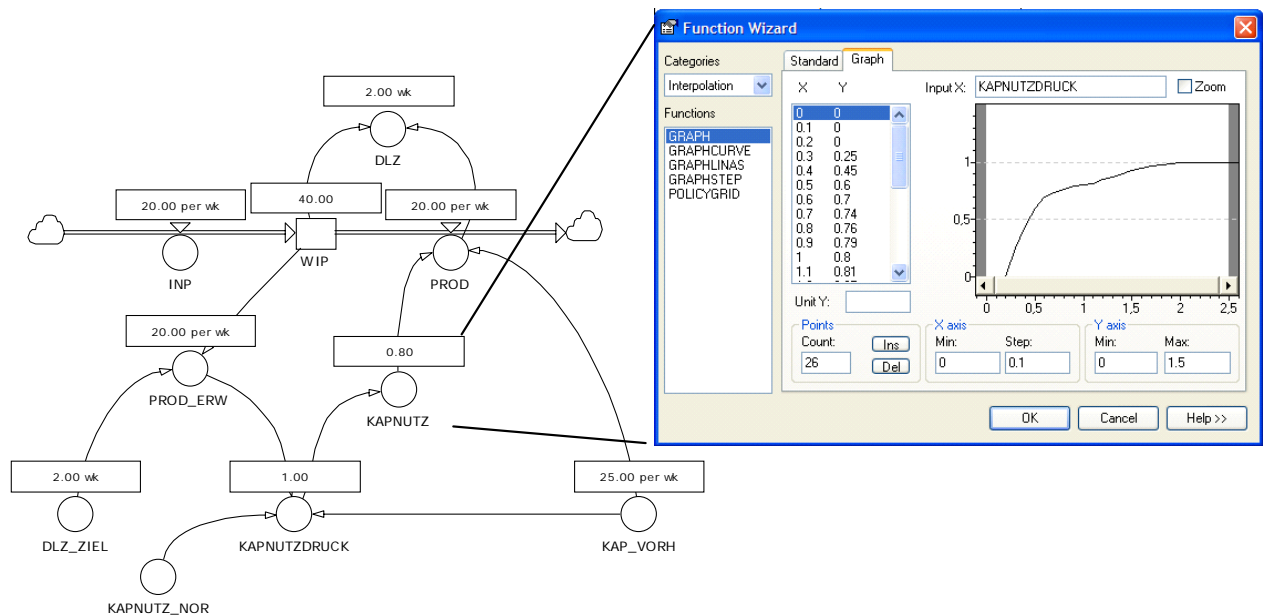


Abbildung 35: Beispiel für den Aufbau einer Tabellenfunktion⁴⁹¹

Im zweiten Schritt sind typische Referenzpunkte zu identifizieren. Ein Referenzpunkt findet sich im Beispiel bei

$$y = f(x) \text{ mit } x = 1,0; y = 0,8.$$

Bei einem Kapazitätsnutzungsdruck von 1 würde demnach eine 80%-ige Kapazitätsnutzung angestrebt werden.

Im nächsten Schritt sind Referenzpolitiken im Sinne alternativer Handlungsspielräume zu identifizieren. Referenzpolitiken finden ihren Niederschlag in Linien oder Kurven, die jeweils Standard- oder extremen Verhaltensweisen entsprechen. Linien oder Kurven, die eine Referenzpolitik repräsentieren sollen als Zuordnungsfunktionen bezeichnet werden. Eine Referenzpolitik könne in $f(x/x^*) = 1$ bestehen. Dies repräsentiert eine Verhaltensweise, bei der eine Änderung der unabhängigen Variable keinen Einfluss auf die abhängige Variable hat. In diesem Beispiel würde unabhängig vom entstehenden Kapazitätsdruck die Kapazität gleich bleibend genutzt werden. Die 45°-Kurve würde eine Politik repräsentieren, bei der y um einen Prozent bei jedem 1%-igen Anstieg von x steigt. In diesem Fall würde angenommen, dass im Unternehmen der Kapazitätsnachfrage immer ein adäquates Kapazitätsangebot gegenübergestellt werden kann. Die Untersuchung unterschiedlicher Referenzpolitiken wird genutzt, um das Problemverständnis zu erhöhen und unmögliche Kurvenverläufe auszuschließen.

Nach der Untersuchung möglicher Referenzpolitiken sind Verhaltensweisen bei Auftreten extremer Situationen der Input- und Outputvariablen zu berücksichtigen. Es werden die Verhaltensweisen des Systems und die Gültigkeit der möglicher Referenzpolitiken untersucht, in dem geprüft wird, wie sich das System verhält, wenn einzelne Variablen gegen unendlich oder gegen Null laufen. Im Beispiel ist es selbstverständlich, dass bei einer angestrebten unendlichen

⁴⁹¹ In Anlehnung an Sterman, J.D. (2000), S. 553 ff.. Eigene Darstellung. Vgl. zum Quellcode Anhang 6.

Durchlaufzeit die gewünschte Produktionsrate Null wird und damit der Kapazitätsnutzungsdruck auf Null sinkt, wodurch auch die tatsächliche Nutzung Null wird.

Als nächstes ist zu prüfen, welcher Wertebereich den einzelnen Variablen zugeordnet werden muss, so dass alle denkbaren Referenzpolitiken abgebildet werden können. Im Beispiel wird der unabhängigen Variablen ein Wertebereich von $\{0 \dots 2,5\}$ gegeben, weil angenommen wird, dass die Durchlaufzeit Abweichungen von der Normaldurchlaufzeit in Höhe von 150% besitzen kann. Die abhängige Variable erreicht im Beispiel ihr Maximum bei der vollen Ausnutzung der vorhandenen Kapazität mit dem Wert 1. Dies heißt im Umkehrschluss, dass die bestehende Kapazität bei normalem Kapazitätsnutzungsdruck noch einen Spielraum von 20 % zusätzlicher Kapazitätsnutzung lässt. Es wird der Wertebereich $\{0 \dots 1, 5\}$ gewählt, um während der Festlegung von Kurvenverläufen Sensitivitätsanalysen durchführen zu können, in denen überprüft wird, ob der Wertebereich ausreicht, um typische Kurvenverläufe zu dokumentieren.

Nach diesen Vorbereitungen ist der Kurvenverlauf der Funktion zu definieren, die den Sachverhalt beschreibt. Die bereits im Vorfeld definierten Referenzpunkte liefern die Stützstellen der zutreffenden Funktion. Die Kurvenformen sind so zu wählen, dass sie zu den ermittelten numerischen und qualitativen Daten passen. Jeder Wendepunkt ist durch Argumente zu hinterlegen. Bei der Definition von Kurvenverläufen sind die physischen Beschränkungen und typischen Vorgehensweisen der Entscheidungsträger zu berücksichtigen. Im Beispiel ist bekannt, dass bei normalem Kapazitätsnutzungsdruck von 1, die vorhandenen Kapazitäten mit dem normalen Niveau von 80% genutzt werden. Ebenso ist bekannt, dass ab einer Differenz der Produktionsraten, die einen Kapazitätsnutzungsdruck von 2 erzeugt, die vorhandene Kapazität voll genutzt wird. Bei einem Kapazitätsnutzungsdruck von 50% wird die Normalkapazität zu 60% ausgelastet. Bei einem Kapazitätsnutzungsdruck von 20% und weniger wird nicht mehr produziert, weil unterstellt wird, dass eine Produktion unwirtschaftlich wäre. Die Kurve, welche die Referenzpolitik beschreibt wird in Abbildung 35 dargestellt.

Wenn numerische Daten vorhanden sind, können die Werte oft statistisch ermittelt werden. Im anderen Fall wird eine Schätzung durch die Entscheidungsträger notwendig. Oftmals führen Schätzwerte zu einer ausreichenden Genauigkeit. Werden trotzdem noch genauere Informationen benötigt, liefern die Schätzungen eine gute Ausgangsbasis, weil sie die Informationserhebung vorstrukturieren. Bei der Funktionsdefinition sind Inkremente zu nutzen, die klein genug sind, um den untersuchten Sachverhalt ausreichend genau zu beschreiben. Die Inkremente zwischen den Werten müssen klein genug sein, um alle Sachverhalte zu beschreiben.

Im Abschluss ist das Modell mit der definierten Funktion durch Simulation auf Plausibilität zu prüfen. Ebenso ist zuletzt die definierte typische Funktion in der Form zu variieren, dass die beschriebenen Verhaltensweisen übertrieben dargestellt werden. Es wird geprüft, wie sensibel die abhängige Variable auf diese Änderungen der Verhaltensfunktion reagiert und ob dieses Verhalten den erwarteten Werten entspricht und plausibel ist. Durch Einsetzen unterschiedlicher Funktionen zur Beschreibung von Referenzpolitiken ist es weiterhin möglich, Simulationsexperimente durchzuführen, welche die Auswirkungen der durch die Funktionen abgebildeten differierenden Verhaltensweisen auf das Verhalten des Modells abbilden.⁴⁹²

⁴⁹² Vgl. Milling, P. (1987), S. 43.

Im Beispiel könnte überprüft werden, welche Auswirkung es auf das Systemverhalten hätte, wenn die Kapazitätsnutzung schon bei geringerem Kapazitätsnutzungsdruck stärker gesteigert würde.

Die im zweiten Teil des vierten Kapitels erarbeiteten elementaren Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle schaffen die Grundlage zur Abbildung von Flexibilitätsproblemen mit schlecht strukturierten Problemstellungen sowie mit nicht linearen Interdependenzen zwischen den Systemelementen. Die Grenzen der Abbildung des Ausführungssystems mit kontinuierlichen Systemmodellen wurden dargestellt. Es wurde gezeigt, welche Ungenauigkeit mit einer kontinuierlichen Modellierung des Materialflusses verbunden ist und wie der Materialfluss quasi-diskret abgebildet werden kann. Möglichkeiten der Modellierung von Zeitverzögerungen wurden erarbeitet, die jegliche Transformation von Eingangsgrößen in Ausgangsgrößen zu beschreiben in der Lage sind. Die Modellierung von Steuerungs- und Regelungsprozessen ermöglicht eine Verhaltensbeschreibung unternehmensinterner Akteure.⁴⁹³ Tabellenfunktionen unterstützen die Abbildung nicht linearer Beziehungen zwischen Systemvariablen.

⁴⁹³ Vgl. zur weitergehenden Auseinandersetzung mit der Modellierung weicher Faktoren wie Handlungsbereitschaft und Loyalität Serman, J.D. (2000).

5 Flexibilitätsgestaltung unter Nutzung kontinuierlicher Systemmodelle

5.1 Gegenstand des Flexibilitätsmanagements auf taktischer Ebene

5.1.1 Gestaltungsziel des Flexibilitätsmanagements auf taktischer Ebene

Auf Grundlage der aufgearbeiteten vorhandenen Forschungsergebnisse werden im ersten Teil des fünften Kapitels das Gestaltungsziel und darauf aufbauend die notwendigen Elemente eines Flexibilitätsmanagements auf taktischer Ebene vorgestellt. In den nächsten Unterkapiteln folgt die Beschreibung der Vorgehensweise zur Flexibilitätsgestaltung, indem die einzelnen Elemente sukzessive aufgearbeitet werden.

Die Gestaltung von Flexibilität innerhalb des Flexibilitätsmanagements kann nur mit Blick auf die strategische, taktische und operative Ebene des Produktionsmanagements erfolgen.⁴⁹⁴ Strategien der Flexibilitätsgestaltung können in einer Matrix abgebildet werden, welche die Flexibilitätspotentialniveaus der unterschiedlichen hierarchischen Ebenen gegenüberstellt. Gestaltungsziel ist das Erreichen von Zuständen, bei denen Flexibilitätsangebot und –potential übereinstimmen, so dass ein dem jeweiligen Flexibilitätsbedarf angemessenes Verhalten auf den Hierarchieebenen möglich ist.⁴⁹⁵

Auf der taktischen Ebene wird das Ziel verfolgt, der operativen Ebene einen geeigneten Handlungsspielraum zur Verfügung zu stellen, um für diese Monoadaptives Verhalten zu gewährleisten. Ebenso wird auf taktischer Ebene bei der Ausnutzung der durch die strategische Ebene vorgegebenen Handlungsspielräume angestrebt, unerwünschte Zustände in Form von Flexibilitätsüberhang oder Flexibilitätsunterdeckung zu vermeiden. Bei Auftreten sind sie durch die vorgestellten Flexibilitätsgestaltungsstrategien auf den Zustand Mono- und Multiadaptiven Verhaltens zu korrigieren. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das Gestaltungsziel des Flexibilitätsmanagements auf taktischer Ebene der gezielte Aufbau eines den Flexibilitätsanforderungen angemessenen Flexibilitätspotentials auf operativer Ebene sowie die adäquate Nutzung der durch die strategische Ebene vorgegebenen Handlungsspielräume ist, wobei angestrebt wird, Zustände von Flexibilitätsüberhang und –unterdeckung gar nicht erst entstehen zu lassen.⁴⁹⁶ Um das zu gewährleisten, sind Anforderungen zum Erhalt Monoadaptiven und Ultraadaptiven Verhaltens aus der operativen und strategischen Ebene an die taktische Ebene zu übermitteln.

Möglichkeiten der Rückmeldung von Handlungsalternativen an die strategische Ebene, deren Umsetzung auf taktischer Ebene nicht möglich ist, sowie sonstige Interaktionen mit der

⁴⁹⁴ Vgl. Kapitel 2.2.2.

⁴⁹⁵ Vgl. Kapitel 3.1.4.

⁴⁹⁶ Vgl. Kaluza, B. (1989), S. 392, der vom Aufbau eines angemessenen Erzeugniswechselpotentials spricht.

strategischen Ebene werden nicht betrachtet. Es wird angenommen, dass die Handlungsspielräume, die der taktischen Ebene durch die strategische Ebene zur Verfügung gestellt wurden, für den Planungszeitraum fest definiert und unveränderlich sind. Die strategische Ebene hat dazu Flexibilitätsbedarfe diagnostiziert, um die langfristigen Zielstellungen zu erreichen. Diese Bedarfe werden regelmäßig durch die externe Dynamik der Unternehmensumwelt hervorgerufen und der taktischen Ebene durch klare Vorgaben in der Form kommuniziert, dass definierte Freiheitsgrade einzuengen sind. Auch die Art der Interaktionen zwischen taktischer Ebene und dem Unternehmensumfeld wird als auf diese Weise festgelegt angenommen.

Handlungsalternativen, die auf operativer Ebene als unzureichend betrachtet werden, werden an die taktische Ebene weitergeleitet.⁴⁹⁷ Diese aus einem ungeplanten Verhalten des Ausführungssystems resultierenden Anforderungen zielen auf die Errichtung zusätzlicher Freiheitsgrade für die operative Ebene. Die operative Ebene soll in die Lage versetzt werden, den aus dem Ausführungssystem resultierenden Anforderungen zu entsprechen.

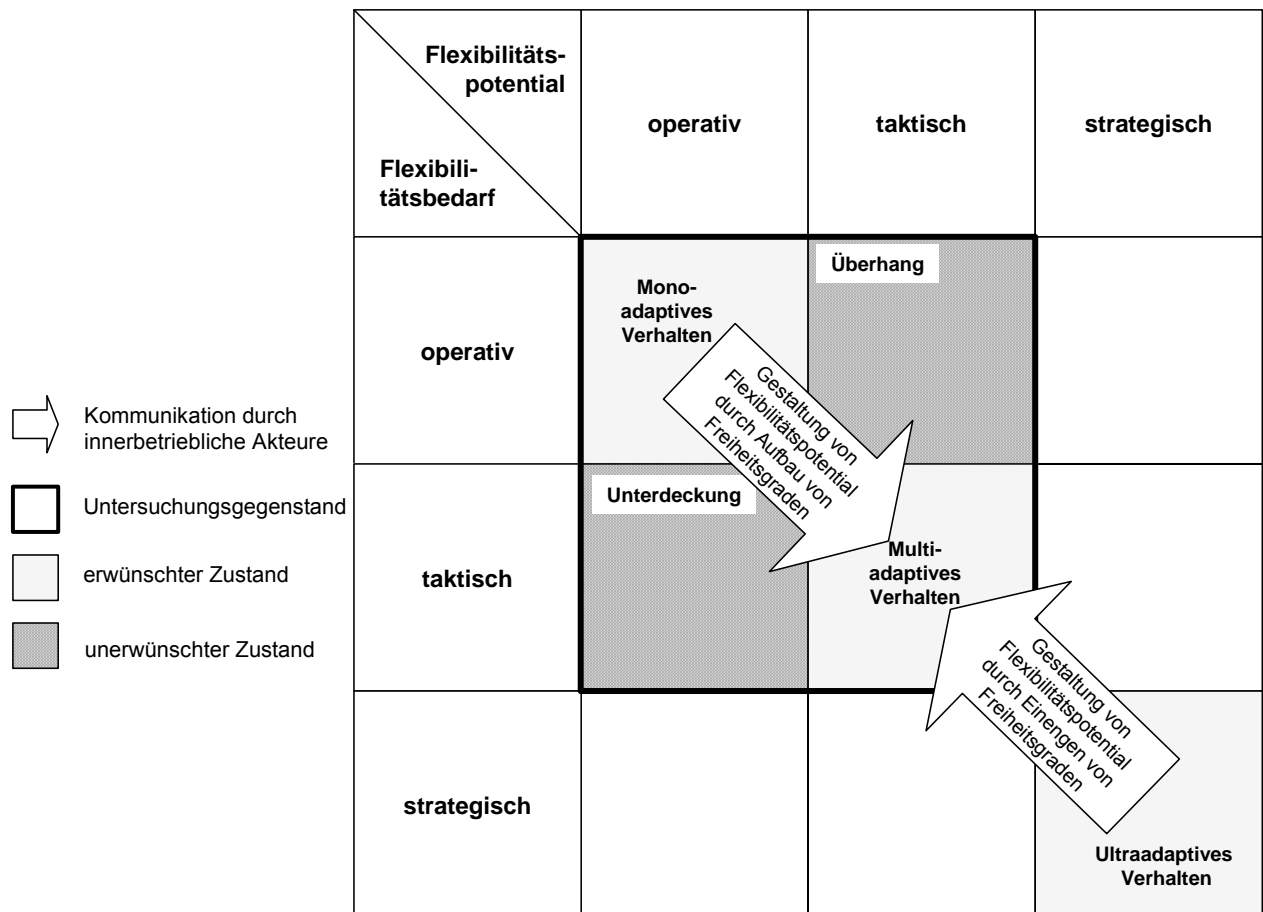


Abbildung 36: Gestaltungsziel des Flexibilitätsmanagements auf taktischer Ebene⁴⁹⁸

⁴⁹⁷ Vgl. Kapitel 2.2.2.2.

⁴⁹⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an das Flexibilitätspotential-Flexibilitätsbedarfsportfolio von HILLMER. [Vgl. Hillmer, H.-J. (1987), S. 147.]

Grundlage für die Initiierung von Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen ist die Annahme, dass die operative Ebene sowie das Ausführungssystem ohne Modifikationen, Anpassungsmaßnahmen und Änderungen des Handlungsspielraumes nicht in der Lage sind, dem auftretenden internen und/oder externen Flexibilitätsbedarf in der Weise zu begegnen, dass Monoadaptives Verhalten möglich ist. In diesem Fall entstehen Flexibilitätsgestaltungsprobleme auf der taktischen Ebene, welche durch die entwickelte Vorgehensweise lösbar werden.

5.1.2 Elemente einer Vorgehensweise zur Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene

Die Erarbeitung von Elementen zur Unterstützung der Flexibilitätsgestaltung folgt dem Ablauf des Flexibilitätsmanagementzyklus. Es wird das theoretische Fundament der Systemtheorie als Grundlage genutzt. Bei der Mehrzahl bestehender Forschungsarbeiten, insbesondere bei simulationsgestützten Ansätzen, dient der Systemansatz als Untersuchungsgrundlage.⁴⁹⁹ Die Kriterien für die Bewertung bestehender Ansätze geben die Rahmenbedingungen für die Elemente der Vorgehensweise vor und sind, bezogen auf das Gestaltungsziel, zu spezifizieren.⁵⁰⁰

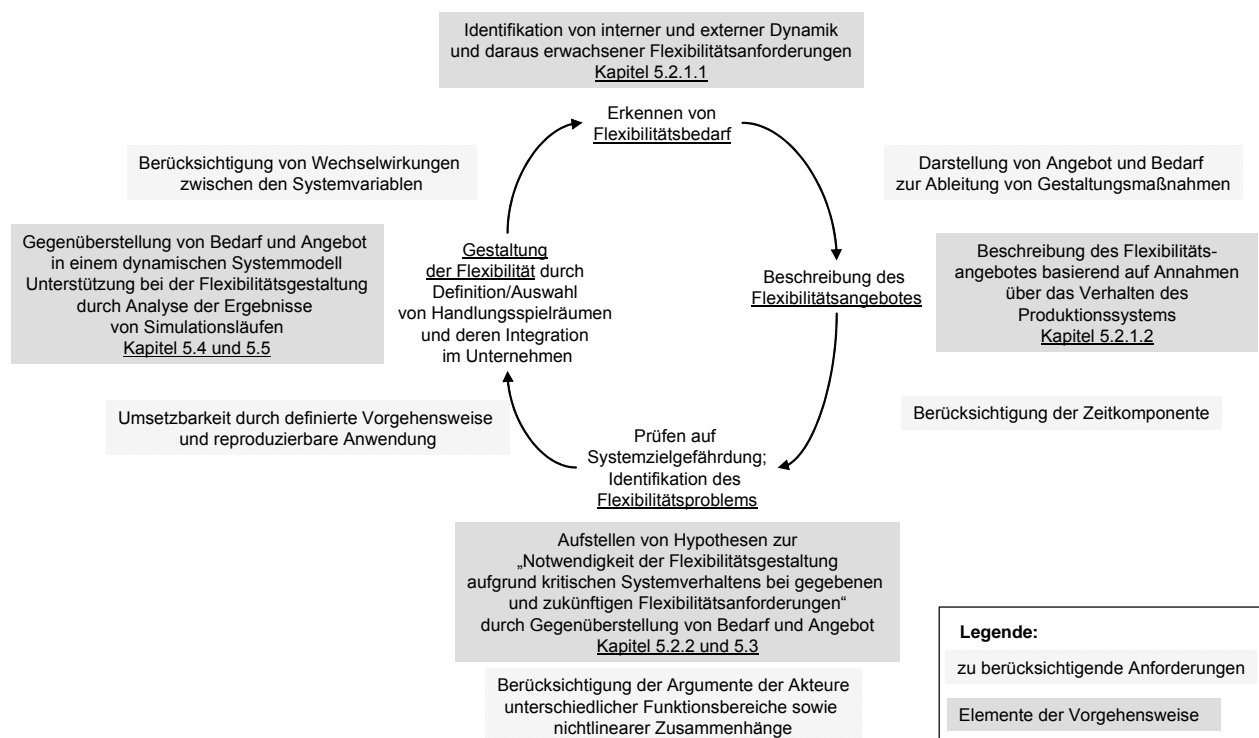


Abbildung 37: Elemente des Flexibilitätsmanagementzyklus auf taktischer Ebene⁵⁰¹

Es wurde festgestellt, dass die Forderung nach „Flexibilität“ im Sinne der Erhöhung der Anpassungsfähigkeit das Subsystem Produktion einerseits als Folge der das Produktionssystem umgebenden Systeme trifft. Andererseits ergibt sich die Notwendigkeit, Produktionssysteme

⁴⁹⁹ Vgl. Kapitel 3.2.

⁵⁰⁰ Vgl. Kapitel 3.3.1.

⁵⁰¹ Eigene Darstellung.

flexibel zu gestalten, aus dem dynamischen instabilen Verhalten des Produktionssystems selbst.⁵⁰² Erst die Kopplung des Produktionssystems mit seiner dynamischen Umwelt und eine Identifikation interner Dynamik erlauben einen wirkungsvollen Umgang mit Flexibilität in der Produktion. Die Identifikation interner Dynamik auf operativer Ebene und externer Dynamik auf strategischer Ebene ermöglicht die Ableitung von Flexibilitätsbedarf als Inputgröße der Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene. Die Kopplung mit der Systemumwelt ergibt sich durch die Handlungsspielräume, die durch die strategische Ebene vorgegeben werden. Es ist ein geeignetes Instrument auszuwählen, das als Ergebnis der Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen der strategischen Ebene den der taktischen Ebene zur Verfügung gestellten Handlungsspielraum beschreibt. Auch innerhalb des Unternehmens erfolgt eine Weiterleitung von Flexibilitätsanforderungen. So werden Flexibilitätsanforderungen aufgrund der Dynamik des Operativsystems an die taktische Ebene weitergeleitet. Bei der Wahl der Werkzeuge für die methodische Unterstützung bei der Definition von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot ist die Zeitkomponente zu berücksichtigen.

Das Flexibilitätsangebot findet sich im Flexibilitätspotential des Produktionsbereiches. Dessen Beschreibung basiert auf den unterschiedlichen mentalen Modellen unternehmensinterner Akteure einerseits und auf den Ergebnissen des formalen Berichtswesens andererseits.⁵⁰³ Die Beschreibung des Flexibilitätsangebotes basiert bei neuen, bisher nicht aufgetretenen Anforderungen auf den subjektiven Annahmen unternehmensinterner Akteure.

Nach der Definition erfolgt eine Gegenüberstellung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot zur Identifikation von Flexibilitätsproblemen. Die Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen insbesondere beim Auftreten bisher unbekannter Bedarfe können oft nur abgeschätzt werden. Deshalb erfolgt die Formulierung von Flexibilitätsproblemen hypothetisch. Die Verhaltensursachen auftretender Dynamik sind vielfältig und lassen sich oft auf interdependente Wirkungen und auf Kombinationen der Änderung mehrerer Parameter zurückführen, so dass die Argumente aller beteiligten Akteure bei der Problemformulierung zu berücksichtigen sind.

Grundlage der Definition von Handlungsspielräumen für die operative Ebene ist die zentrale Hypothese, dass das vorhandene System nicht das Flexibilitätspotential besitzt, um den erforderlichen Flexibilitätsbedarf zu befriedigen und dass das erforderliche Potential durch Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen erst geschaffen werden muss.⁵⁰⁴ Durch eine Abbildung des Systems in einem dynamischen Systemmodell und einer Analyse des Modells durch Simulationsläufe können die Hypothesen über mögliche Flexibilitätsprobleme geprüft werden. Im Zuge der Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene ist nicht nur das Ausführungssystem zu definieren. Vielmehr ist der Umgang der operativen Ebene mit dem Ausführungssystem, also das Systemverhalten, insbesondere bei auftretendem Flexibilitätsbedarf abzubilden.

Die Elemente der Vorgehensweise zur Gestaltung von Flexibilität können durch Teilnehmer eines Projektteams bearbeitet werden. Das Projektteam besteht aus Mitarbeitern unterschiedlicher Funktionsbereiche und unterschiedlicher hierarchischer Position im

⁵⁰² Vgl. Kapitel 3.2.1.

⁵⁰³ Vgl. Kapitel 3.2.1.

⁵⁰⁴ Vgl. Kapitel 5.1.1.

Unternehmen. Die genaue Zusammensetzung des Projektteams ist von der jeweiligen Problemstellung abhängig. Durch die Erarbeitung von Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen in einem interdisziplinären Projektteam können die Argumente der Akteure angrenzender Bereiche berücksichtigt werden.

5.2 Identifikation und Beschreibung des Flexibilitätsproblems

5.2.1 Beschreibung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot

5.2.1.1 Beschreibung von Flexibilitätsbedarf

Bei der Ermittlung des Flexibilitätsbedarfes im Produktionssystem sind sowohl Anforderungen aufgrund externer Dynamik, welche vorrangig die strategische Ebene betreffen, als auch Anforderungen aufgrund interner Dynamik, die vordergründig aus verändertem Verhalten des Produktionssystems resultieren, zu berücksichtigen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden mehrere Methoden vorgestellt, welche anstreben, die Flexibilitätsgestaltung auf strategischer Ebene durch Verarbeitung externer Dynamik zu unterstützen. Bei Erstellung eines Technologiekalenders werden insbesondere die Zeitkomponente sowie die Auswirkungen externer Anforderungen auf andere Funktionsbereiche explizit berücksichtigt. Durch den Technologiekalender wird beschrieben, vor welchen Flexibilitätsanforderungen das System zukünftig aufgrund der Änderung externer Parameter stehen wird. Wenn auch nicht genau in dieser Form, so werden doch in jedem Unternehmen Informationen gleichen Inhalts für die weitere Planung zur Verfügung gestellt. Der Technologiekalender ist darüber hinaus anerkanntes Instrument für die Übergabe von Handlungsspielräumen an die taktische Ebene, wie vorhandene Ansätze zeigen.⁵⁰⁵ Er soll deshalb als Grundlage für die Ableitung der aus externer Dynamik auf strategischer Ebene resultierenden Flexibilitätsanforderungen genutzt und folgend detaillierter vorgestellt werden.

Der Technologiekalender, wie beispielhaft in Abbildung 38 dargestellt, enthält in komprimierter Form die Entwicklung wesentlicher Strategievariablen für die unterschiedlichen Funktionsbereiche. Es wird ausdrücklich gefordert, die Komponente Zeit in die Betrachtung einzubeziehen und es wird darauf hingewiesen, dass Komponenten, wie der Einsatzzeitpunkt neuer Technologien, die Entwicklung des Produktionsprogramms und die Kapazitäts- und Fertigungsstruktur, wechselseitig voneinander abhängig sind.⁵⁰⁶ Inputgrößen der Untersuchung sind prognostizierte neue Technologien und die erwartete Marktnachfrage. Der Technologiekalender charakterisiert die Handlungsspielräume und die daraus ableitbaren Investitionsbudgets, die der taktischen Ebene zur Verfügung gestellt werden.

⁵⁰⁵ Vgl. hierzu beispielsweise das Konzept einer auf den Technologiekalender aufsetzenden Personalentwicklungsplanung von ZÜLCH/ROTTINGER. [Vgl. Zülch, G.; Rottinger, S. (2004)]

⁵⁰⁶ Vgl. Wildemann, H. (1987), S. 299.

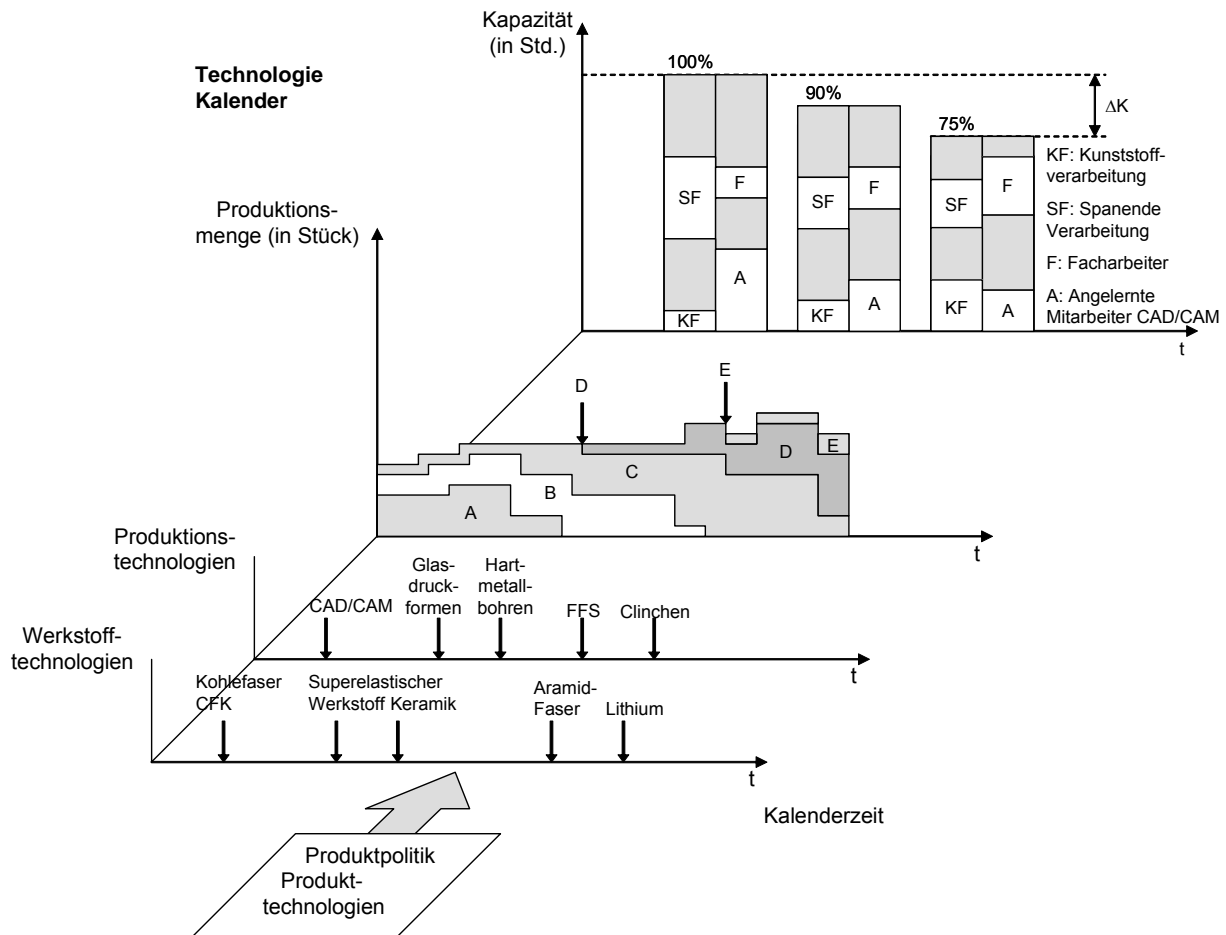


Abbildung 38: Beschreibung von Flexibilitätsanforderungen aufgrund externer Dynamik⁵⁰⁷

Die Verfolgung langfristiger Strategien der einzelnen strategischen Geschäftseinheiten ist Ausgangspunkt der Erstellung des Technologiekalenders. Die Strategien geben beispielsweise vor, welche Produktmodifikationen erforderlich sind, um sich gegenüber der Konkurrenz einen Wettbewerbsvorteil zu verschaffen. Aus den Produktmodifikationen können unmittelbar Wechsel der Produkt- und Werkstofftechnologien resultieren. Eine mögliche Folge des Einsatzes neuer Technologien besteht darin, dass bestehende Produktionstechnologien den geänderten Anforderungen nicht mehr genügen und neue Produktionstechnologien zu entwickeln und einzusetzen sind. Besondere Relevanz besitzt für die taktische Ebene die Entwicklung der Produktnachfrage nach Art und Menge. Aus dem Technologiekalender kann abgelesen werden, zu welchen Zeitpunkten und mit welcher Geschwindigkeit alte Produkte auslaufen sollen, alte Produkte durch neue Produkte ersetzt und gänzlich neue Produkte in das Produktionsprogramm aufgenommen werden sollen. Die geplante Entwicklung des quantitativen und qualitativen Personalbedarfs über die Zeit ergibt sich aus der einzusetzenden Technologie und der Produktnachfrage nach Art und Menge.

Flexibilitätsanforderungen aufgrund interner Dynamik erwachsen aus dem dynamischen Verhalten des vorhandenen Produktionssystems bei gegebenen Zielstellungen einerseits sowie

⁵⁰⁷ Wildemann, H. (1987), S. 83.

unter Berücksichtigung zukünftiger externer Anforderungen andererseits.⁵⁰⁸ Den Flexibilitätsanforderungen aus dem Ausführungssystem soll durch den, auf der operativen Ebene vorhandenen, Handlungsspielräumen begegnet werden.

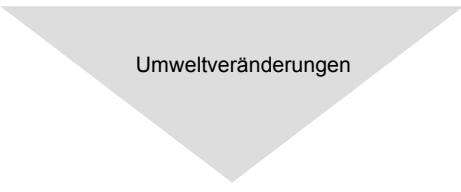
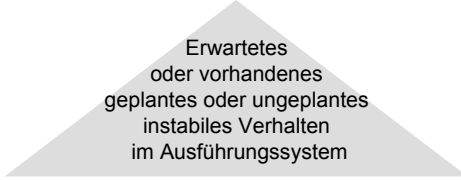
Es wurde festgestellt, dass auf operativer Ebene Flexibilitätsanforderungen auf direktem Wege durch Kommunikation der Akteure und auf indirektem Wege im Rahmen des Berichtswesens beschrieben werden können.⁵⁰⁹ Die auf diesen Wegen erfassten Informationen unterscheiden sich in Abhängigkeit vom strukturellen Aufbau des betrachteten Produktionsbereiches, den involvierten Funktionen sowie den aktuellen dynamischen Herausforderungen des Produktionsbereiches. Produktionsbereiche von Unternehmen unterscheiden sich in diesen Eigenschaften. Aus diesem Grund existieren eine nicht definierbare Anzahl möglicher produktionswirtschaftlicher Flexibilitätsbedarfe⁵¹⁰ und unterschiedlichste Informationsmechanismen zur Identifikation interner Flexibilitätsanforderungen. Es ist deshalb nicht möglich, einheitliche, fest vorgeschriebene Parameter zur Ermittlung interner Flexibilitätsanforderungen zu benutzen. Vielmehr wird auf die Kenntnis der Flexibilitätsanforderungen durch die unternehmensinternen Akteure gesetzt. Bei der Flexibilitätsbedarfsbeschreibung sollten die vorgestellten Kriterien zur Klassifikation von Flexibilitätsbedarf genutzt werden. Es ist einerseits eine laufende Ermittlung des Flexibilitätsbedarfes basierend auf vorhandenen Systemverhaltensweisen in Beziehung zu bestehenden Systemzielen anzustreben. Andererseits ist der Flexibilitätsbedarf für Systemverhaltensweisen zu ermitteln, die durch die extern definierten Flexibilitätsanforderungen zukünftig entstehen werden.

Nicht jeder denkbare Flexibilitätsbedarf wird beschrieben. Zur Ermittlung des untersuchungsrelevanten Flexibilitätsbedarfs sind Produktionssystemverhaltensweisen zu identifizieren, welche mit großer Wahrscheinlichkeit bestehenden und zukünftigen Flexibilitätsanforderungen nicht standhalten. Die Identifikation dieses Systemverhaltens und des ursächlichen Flexibilitätsbedarfs orientiert sich an einer möglichen Gefährdung bei der Systemzielverfolgung. Beschreibungsobjekt und Untersuchungsgegenstand sind jeweils nur kritische Flexibilitätsbedarfe, die in Korrelation zu den Unternehmenszielen stehen, indem sie eine zielabträgliche oder zielfördernde Wirkung besitzen. Im Sinne der bei der Beschreibung des Flexibilitätsmanagementzyklus getroffenen Definition des Begriffes Flexibilitätsbedarf, gilt es demnach, dynamische Änderungen interner und externer Flexibilitätsanforderungen zu beschreiben, die eine Änderung bestehender Flexibilitätspotentiale erfordern.

⁵⁰⁸ Vgl. Kapitel 3.2.1.

⁵⁰⁹ Vgl. Kapitel 3.2.1.

⁵¹⁰ Vgl. Kapitel 3.1.2.

Dynamik	wird identifiziert durch	führt zu Flexibilitätsbedarfskommunikation
 <p>Umweltveränderungen</p>	<p>Qualitative und quantitative Prognosemethoden in Verbindung mit Potentialanalysen; Technologiekalender</p>	<div> <div>Strategische Ebene</div> <div> <p>kommuniziert die Notwendigkeit des Aufbaus von Flexibilitätspotentialen durch Einengen von Freiheitsgraden</p> </div> <div>Taktische Ebene</div> </div> <p>↓</p>
 <p>Erwartetes oder vorhandenes geplantes oder ungeplantes instabiles Verhalten im Ausführungssystem</p>	<p>Steuerungsinformationen, die über das Verhalten des Produkivsystems berichten</p>	<div> <div>Operative Ebene</div> <div> <p>kommuniziert die Notwendigkeit des Aufbaus von Flexibilitätspotentialen durch Schaffen von Freiheitsgraden</p> </div> <div>Taktische Ebene</div> </div> <p>↑</p>

Identifikation kritischer Verhaltensweisen des Produktionssystems zur Beschreibung von Flexibilitätsbedarf

1. Zeigt das Produktionssystem Verhaltensweisen, die welchen aktuellen Flexibilitätsanforderungen nicht genügen?
2. Wird das Produktionssystem Verhaltensweisen zeigen, die welchen prognostizierten Flexibilitätsanforderungen nicht entsprechen?

Kriterien zur Beschreibung des Flexibilitätsbedarfes:

Ursprung	Was ist Ursache für das Auftreten der Flexibilitätsanforderungen?
Zielwirkung	Ist die Wirkung der Flexibilitätsanforderung zielabträglich oder zielfördernd?
Eintrittswahrscheinlichkeit	Mit welcher Wahrscheinlichkeit treten Flexibilitätsanforderungen auf?
Entwicklungstendenz	Welchen Entwicklungsverlauf zeigen die Flexibilitätsanforderungen? (sprunghaft, zyklisch)
Wirkungsrichtung	Führen die Flexibilitätsanforderungen zu einer Expansion oder Kontraktion des Produktionssystems?
Art des Eintritts, Dauer	Treten die Flexibilitätsanforderungen schlagartig auf oder begleiten sie die Systementwicklung permanent?
Nachhaltigkeit der Wirkung	Ruft die Wirkung der Flexibilitätsanforderungen strukturelle Änderungen des Systems hervor oder kann ihr durch bestehende Handlungsspielräume begegnet werden?
Vertrauheitsgrad	Sind die Flexibilitätsanforderungen dem Unternehmen bekannt oder sind sie neu?

Abbildung 39: Beschreibung von Flexibilitätsbedarf⁵¹¹

Verhaltensweisen des Produktionssystems, die aus der identifizierten internen und externen Dynamik resultieren, sollen in der in Abbildung 39 dargestellten Form zunächst nur skizziert werden, weil die Identifikation möglicher kritischer Verhaltensweisen sowie des zugrunde liegenden Flexibilitätsbedarfs hypothetischen Charakter trägt.⁵¹² Eine detaillierte Beschreibung des Flexibilitätsbedarfs und der Systemverhaltensweisen, die das Flexibilitätsangebot charakterisieren, erfolgt deshalb erst im Rahmen der Formulierung der Flexibilitätsprobleme.

5.2.1.2 Beschreibung von Flexibilitätsangebot

Es ist nicht zweckmässig, eine vollständige Abbildung des Flexibilitätsangebotes vorzunehmen, weil das Produktionssystem einerseits aus Sicht der unterschiedlichen Funktionsbereiche eines Unternehmens jeweils differierende Verhaltensweisen zeigt. Andererseits würde eine vollständige

⁵¹¹ Eigene Darstellung.

⁵¹² Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 86. Dieses Vorgehen deckt sich mit der Richtlinie, dass die ersten Schritte bei einer Untersuchung komplexer Zusammenhänge in einer Problembeschreibung und in der Formulierung dynamischer Hypothesen bestehen.

Beschreibung des Flexibilitätsangebotes eines Unternehmens ohne Fokus auf bestimmte Problemstellungen nur durch Abbildung des Gesamtunternehmens unter Integration aller Funktionen und Verhaltensweisen möglich sein. Eine exakte Definition des Flexibilitätsangebotes würde in einer umfassenden Beschreibung des Systems liegen, die einerseits kaum realisierbar und andererseits für die Untersuchung spezifischer Problemfälle in der Regel nicht notwendig ist.

In Vorbereitung auf die Aufstellung von Hypothesen zur Beschreibung von Flexibilitätsproblemen ist es notwendig, der Ermittlung des Flexibilitätsangebotes einen strukturellen Rahmen zu geben. Dazu werden zunächst, wie Abbildung 18 zeigt, aus dem allgemeinen Klassifikationsschema des Flexibilitätsbegriffes wesentliche Gestaltungsbereiche der Flexibilität von Produktionssystemen abgeleitet.⁵¹³ Es wird eine Klassifikation in Bestands- und Entwicklungsflexibilität vorgenommen. Die Gestaltungsbereiche beschreiben das mögliche Verhalten des Produktionssystems, um auftretenden Flexibilitätsanforderungen zu begegnen.

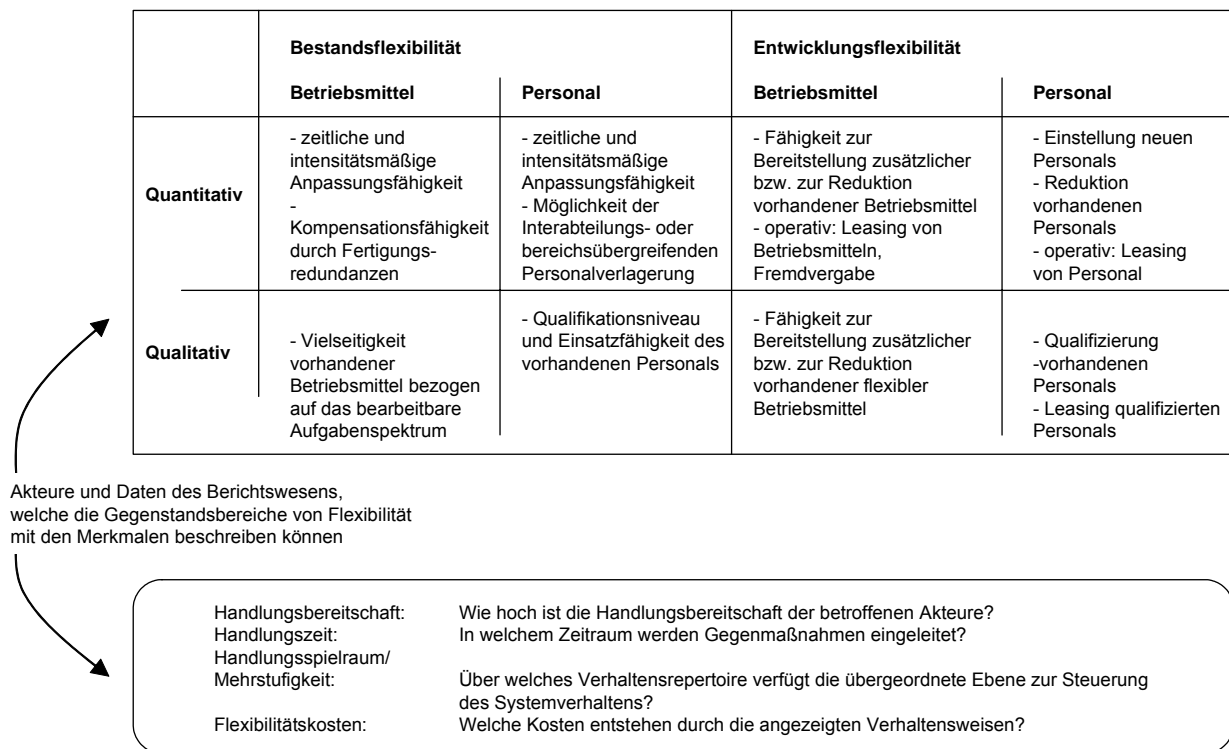


Abbildung 40: Gestaltungsbereiche des Flexibilitätsangebotes eines Produktionssystems⁵¹⁴

Im Gegensatz zu den Flexibilitätsanforderungen im Rahmen der Bestandsflexibilität steht das Produktionssystem in den Sektoren, die Gestaltungsmaßnahmen im Rahmen der Entwicklungsflexibilität beschreiben, vor Herausforderungen, denen nicht mehr durch Erhöhung des Einsatzes zur Verfügung stehenden Potentials begegnet werden kann. Entsprechend der positiven oder negativen Entwicklungsrichtung der Anforderungen wird es notwendig, den Potentialfaktorbestand qualitativ und quantitativ zu verändern. Damit wird an dieser Stelle das Vorhandensein eines bestimmten, durch die einzelnen Akteure zunächst unterschiedlich wahrgenommenen, Flexibilitätsangebotes zunächst ohne weitere Prüfung unterstellt.

⁵¹³ Vgl. Kapitel 2.1.4.2 und 2.1.4.3.

⁵¹⁴ Eigene Darstellung

Um im weiteren Vorgehen eine problemadäquate Beschreibung des Flexibilitätsangebotes sicherzustellen, sind Akteure und Teilbereiche des Berichtswesens auszuwählen, welche die Fähigkeit besitzen, eine Beschreibung des Systemverhaltens auf Grundlage der Merkmale der Flexibilität vorzunehmen. Die definierten Gestaltungsbereiche charakterisieren das mögliche Systemverhalten und lassen sich durch die Merkmale der Flexibilität eindeutig beschreiben. Entsprechend der Sichten des flexibilitätsorientierten Projektionsmodells sind die Argumente der Akteure aller Funktionsbereiche des Unternehmens zu berücksichtigen. Lediglich Flexibilitätsbedarf, der das systemimmanente Flexibilitätpotential übersteigt, kann zu Flexibilitätsproblemen führen. Die detaillierte Beschreibung des Flexibilitätsangebotes erfolgt deshalb erst im Rahmen der Formulierung von Flexibilitätsproblemen.

5.2.2 Formulierung von Flexibilitätsproblemen

5.2.2.1 Identifikation und Beschreibung von Flexibilitätsproblemen

Bei der Formulierung hypothetischer Flexibilitätsprobleme werden die Fragen zur Ermittlung des Flexibilitätsbedarfs detailliert, indem Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot gegenübergestellt werden. Die Formulierung von Hypothesen beziehungsweise die Beschreibung von Beobachtungen stehen am Beginn eines jeden Modellentwicklungsprozesses, wobei darauf zu achten ist, dass jede Hypothese ein reales Gegenstück besitzt.⁵¹⁵ Bezogen auf interne Flexibilitätserfordernisse wird gefragt, WO das Produktionssystem WELCHE Verhaltensweisen zeigt, die WELCHEN Flexibilitätsanforderungen nicht genügen. Ebenso ergeben sich möglicherweise Flexibilitätserfordernisse aufgrund externer Dynamik, die sich mit der Frage beschreiben lassen, WO das Produktionssystem WELCHE Verhaltensweisen zeigen wird, die WELCHEM prognostizierten externen Flexibilitätsbedarf nicht entsprechen. Weiterhin wird gefragt, welche Ausprägungen die Flexibilitätsmerkmale des Produktionssystems im entsprechenden Bereich besitzen müssen. Durch wechselseitige Gegenüberstellung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot ist die Ableitung und Beschreibung von Flexibilitätsproblemen möglich. Unterstützend wirkt sich bei der Identifikation aus, dass sich die Problemfelder jeweils den unterschiedlichen Feldern der Gestaltungsbereiche des Flexibilitätsangebots zuordnen lassen.

⁵¹⁵ Vgl. Milling, P. (2002), S. 21.

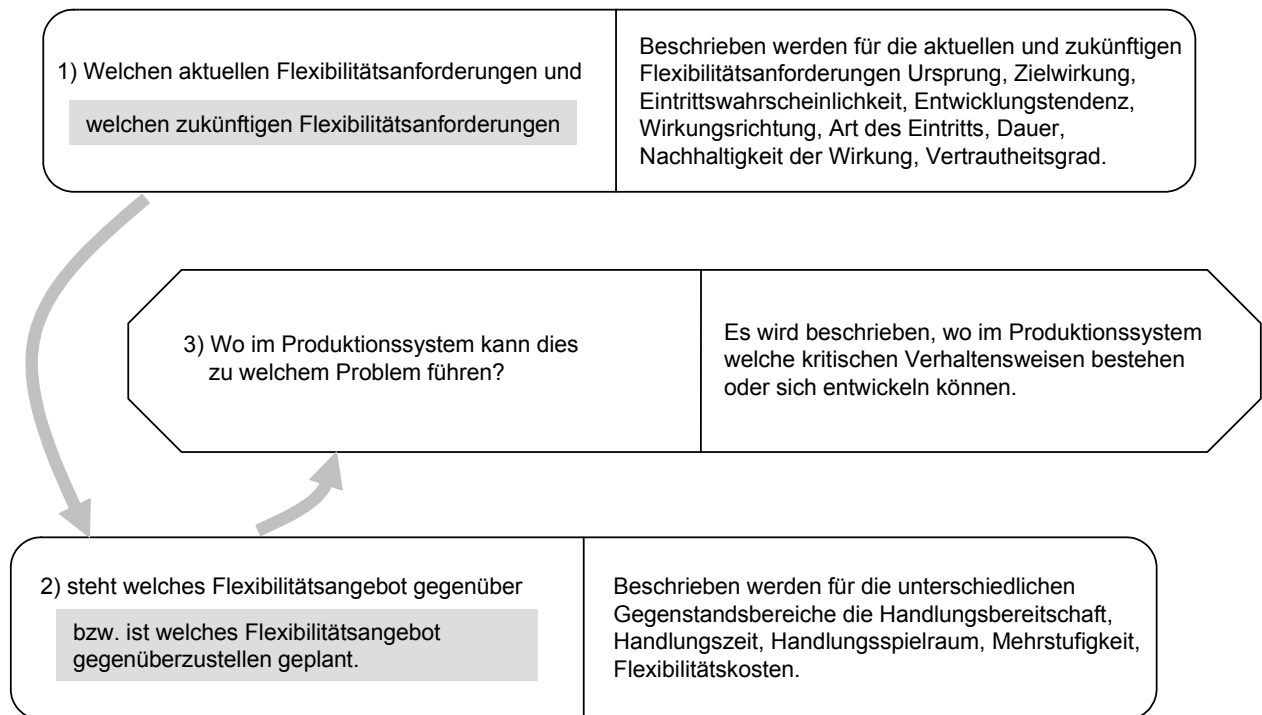


Abbildung 41: Formulierung hypothetischer Flexibilitätsprobleme⁵¹⁶

Der identifizierte Flexibilitätsbedarf und das entsprechende aktuelle oder geplante zukünftige Flexibilitätspotential werden einander gegenübergestellt. Aus der Gegenüberstellung und den identifizierten Disparitäten zwischen Angebot und Bedarf lassen sich unmittelbar mögliche relevante Flexibilitätsprobleme ableiten. Die beschriebenen Probleme haben die Eigenschaft dynamischer Hypothesen. Bei der notwendigen detaillierten Beschreibung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot sollten strukturierende Methoden, wie die Metaplantechnik eingesetzt werden. Möglicherweise ist es notwendig, die Vielzahl an identifizierten und beschriebenen Flexibilitätsproblemen einzuschränken. Auch dazu wird der Einsatz strukturierender Methoden empfohlen. Durch die angesprochene Vorgehensweise werden in jedem Untersuchungsschritt Interessenkonflikte sowie unterschiedliche Ziele und Werte der Entscheidungsträger aufgegriffen und transparent gemacht. Dies führt zu einem gemeinsamen Wertsystem und gemeinsamen Entscheidungsprämissen der Mitglieder des Projektteams.⁵¹⁷

5.2.2.2 Dynamische Abbildung von Flexibilitätsproblemen

Die Abbildung der Hypothesen zur expliziten Problemformulierung und weiteren Eingrenzung der abzubildenden Elemente soll durch Wirkungsdiagramme erfolgen. Diese Darstellungsform eignet sich einerseits zur Abbildung des dynamischen Charakters von Flexibilitätsproblemen. Andererseits ist sie regelmäßig Vorstufe der Überführung der Problemstellung in ein simulationsfähiges Computermodell.

Wirkungsdiagramme werden in dieser Untersuchung verstanden als eine „... Abbildung der von verschiedenen Akteuren einer Organisation geteilten oder gemeinsam erzeugten Begriffe und

⁵¹⁶ Eigene Darstellung.

⁵¹⁷ Vgl. Milling, P. (2002), S. 13.

deren relevante(r) Querverweise.⁵¹⁸ Die Wirklichkeit wird dabei konsensorientiert erfasst und problemrelevante Einflussgrößen sowie deren wirksame Beziehungen werden abgebildet.⁵¹⁹ Es wird betont, dass keine problemrelevanten Elemente unberücksichtigt bleiben sollten und jede noch so schlechte Schätzung relevanter Parameter besser als deren Vernachlässigung ist.⁵²⁰ WILMS betont die Gefahr einer interessengeleiteten, unkritischen Auswahl von Elementen und Wirkungsbeziehungen und empfiehlt die gemeinsame Erarbeitung von Ordnungsrelationen und die begründete Auswahl der Vorzugsalternative durch das Projektteam.⁵²¹ Durch die Teilnehmer des Projektteams wird ein Wirkungsdiagramm erarbeitet, das oft nicht den mentalen Modellen entspricht, welches die einzelnen Akteure vor der konsensorientierten Abbildung besaßen.⁵²² Wirkungsdiagramme bestehen aus positiven und negativen Rückkopplungsschleifen als Elementarbestandteile. Eine negative Rückkopplungsschleife erzeugt ein zielsuchendes Verhalten des Systems, welches sich auch in einem Regelkreis wieder finden lässt. Der Aufbau eines Regelkreises wurde bereits in System-Dynamics-Notation vorgestellt.⁵²³ Im Wirkungsdiagramm eines zielsuchenden Systems finden sich, wie in Abbildung 42 dargestellt, die elementaren Bestandteile eines Regelkreises.

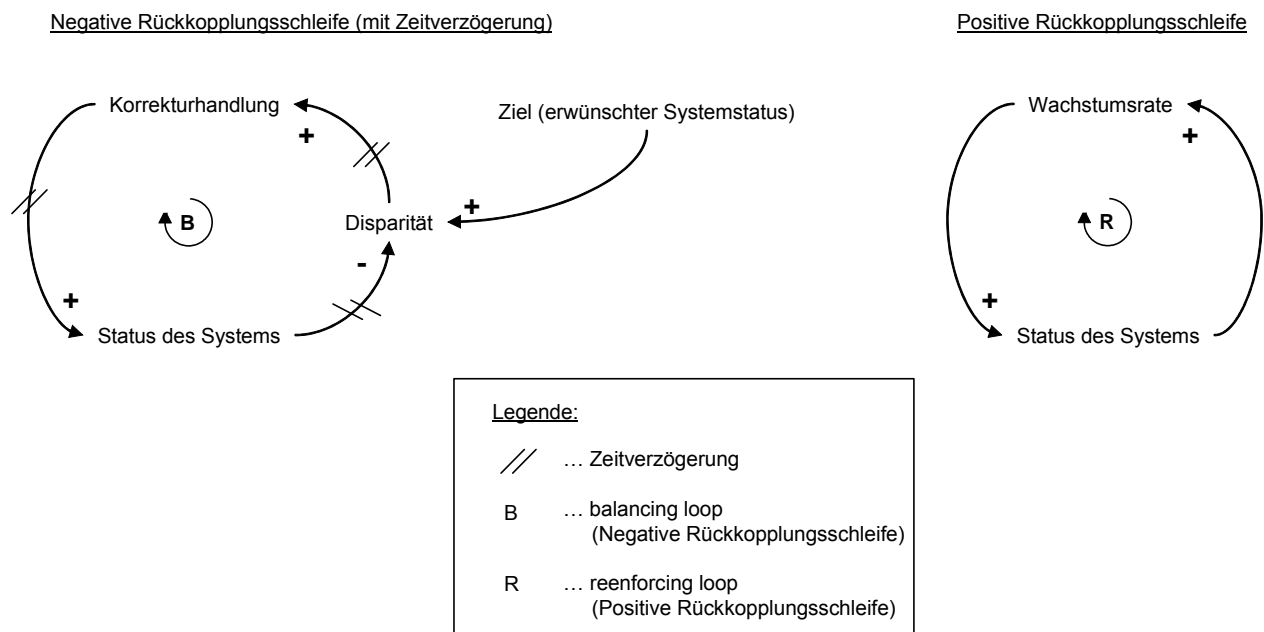


Abbildung 42: Rückkopplungsschleifen⁵²⁴

Eine negative Rückkopplungsschleife strebt stets ein Gleichgewicht an.⁵²⁵ Eine Abnahme bestimmter Eigenschaften eines Systems führt bei gleich bleibendem Zielwert für diese

⁵¹⁸ Wilms, F.E.P. (2002), S. 290. Wirkungsdiagramme können in direkter Übersetzung aus dem angloamerikanischen Sprachraum auch als Kausalschleifendiagramme bezeichnet werden.

⁵¹⁹ Vgl. Wilms, F.E.P. (2002), S. 290, 291.

⁵²⁰ Vgl. Milling, P. (2002), S. 22.

⁵²¹ Vgl. Wilms, F.E.P. (2002), S. 291, 292.

⁵²² Vgl. Wilms, F.E.P. (2002), S. 299, 300. Auch SCHMIDT betont die Vorteile der kommunikativen Wirkung, durch die im Vorfeld der Modellerstellung ein intensiver Gedankenaustausch und eine ständige Hinterfragung der Zusammenhänge erfolgt. [Vgl. Schmidt, D. (1992), S. 122, 123.]

⁵²³ Vgl. Abbildung 32 in Kapitel 4.2.3.2.

⁵²⁴ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 111.

Eigenschaften zu einer steigenden Disparität. Diese löst ein Ansteigen von Korrekturhandlungen aus, deren Anstieg wiederum eine Veränderung der Eigenschaften des Systems in Richtung des Zielwertes hervorruft. Treten in einer negativen Rückkopplungsschleife Zeitverzögerungen, zum Beispiel durch das Berichtswesen zur Rückführung der Systeminformationen an den Regler oder durch die Entscheidungsfindung innerhalb des Reglers oder durch die Durchführung der Korrekturhandlungen auf, so stellt sich kein Gleichgewicht ein. Das System strebt in diesem Fall kontinuierlich den Gleichgewichtszustand an, reagiert jedoch bei Vorliegen einer signifikanten Zeitverzögerung so spät auf die eingeleiteten Korrekturhandlungen, dass ständig weitere Steuerungsinformationen ausgelöst werden. Die Höhe der betrachteten Eigenschaften des Systems oszilliert dann um den Zielwert.

Eine positive Rückkopplungsschleife erzeugt ein Systemverhalten, welches sich selbst verstärkt. Ein Anstieg bestimmter Systemeigenschaften veranlasst dabei ein Ansteigen der Wachstumsrate, die zu einem weiteren Anwachsen der betrachteten Systemeigenschaften und damit zu einem exponentiellen Wachstum führt. Durch Systemarchetypen ist es möglich, typische, in der Biologie auftretende Verhaltensweisen abzubilden.

Bei der Formulierung des Flexibilitätsproblems wird dem System ein bestimmtes Verhalten unterstellt. Die einzelnen Modellbestandteile werden im zweiten Schritt im Rahmen der Abbildung des Produktionssystems in einem EDV-gestützten Simulationsmodell mit Entscheidungsregeln ausgestattet. Ebenso werden dann Verknüpfungen zu Parametern aus anderen Modellbestandteilen definiert.

⁵²⁵ Bei der Abbildung in Wirkungsdiagrammen kann die Faustregel genutzt werden, dass eine ungerade Anzahl von „-“-Zeichen in einem Wirkungskreis ein Systemverhalten verursacht, welches ein Gleichgewicht anstrebt. Eine gerade Anzahl bzw. das Nicht-Vorhandensein kennzeichnet eine positive Rückkopplungsschleife.

5.3 Problemorientierte Abbildung des Produktionssystems

5.3.1 Bestimmen der Systemgrenze auf Grundlage des Flexibilitätsproblems

Die Systemgrenze kennzeichnet die Schnittstelle eines Systems zu seiner Umwelt, an der es zu keinen Rückkopplungsbeziehungen zwischen einem Systemelement und einer exogenen Quelle kommt.⁵²⁶ Sie ist dort zu finden, wo weder Informationen noch Material, deren Verhalten ihre Ursache im System haben und die sich wieder auf das System auswirken, über die Systemgrenze hinweg ausgetauscht werden. Damit charakterisieren Quellen, Senken und Konstanten innerhalb des Systemmodells die Systemgrenze. STERMAN empfiehlt zur Abgrenzung die Nutzung eines „Boundary-chart“, in der endogene, exogene und nicht betrachtete Parameter separat aufgelistet werden.⁵²⁷ Dessen Einsatz ist bei sehr komplexen Projekten empfehlenswert.

Die im Wirkungsdiagramm verwendeten Parameter geben einen entscheidenden Anhaltspunkt für die notwendigerweise abzubildenden Parameter. Sonst orientiert sich die Auswahl der Parameter daran, analytisches und synthetisches Denken in der Form zu unterstützen, dass einerseits analysiert werden kann, welche Beziehungen zwischen Elementen vorhanden sind und welche Systemverhaltensweisen daraus resultieren, andererseits jedoch auch Erkenntnisse durch Synthese gewonnen werden können, indem die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Subsystemen transparent abgebildet werden und den Blick auf das Verhalten des Gesamtsystems nicht verbauen.⁵²⁸

Elementarer Bestandteil der Abbildung von Produktionssystemen sind Produktiveinheiten. Eine Produktiveinheit besteht, entsprechend des gewählten Detaillierungsgrades, aus Einzelarbeitsplätzen oder Maschinengruppen, wie zum Beispiel mehreren Transferstraßen. Aggregiert man die Produktiveinheiten auf diesem Detaillierungsgrad weiter, so stellen Fertigungssegmente ebenfalls Produktiveinheiten dar.⁵²⁹ Die Wahl der Grobkörnigkeit der Abbildung ist davon abhängig, auf welchem Aggregationsniveau die Problemstellung ansetzt und ob für eine Produktiveinheit eine sichere Aussage über das Prozessverhalten sowie eine separate Planung der Betriebsmittel vorgenommen werden kann. Die Beschreibung von Produktiveinheiten beinhaltet die wesentlichen Leistungs- und Strukturelemente, welche zur Erzeugung des dynamischen Verhaltens des Produktionssystems beitragen. In Abhängigkeit von der vorliegenden Problemstellung kann über den Produktionsbereich hinaus die Modellierung unterschiedlicher Sektoren notwendig werden, die sich in einer Vielzahl systemdynamischer Modelle wieder finden lassen.

⁵²⁶ Vgl. Milling, P. (2002), S. 21.

⁵²⁷ Vgl. Sterman, J.D. (2000), S. 97.

⁵²⁸ Vgl. Schmidt, D. (1992), S. 56, 57.

⁵²⁹ Vgl. Kapitel 2.2.1.3.

5.3.2 Aufbau eines simulationsfähigen Systemmodells

5.3.2.1 Elemente der Abbildung von Flexibilitätsproblemen im Systemmodell

Regelmäßig sind bei Gestaltungsentscheidungen des taktischen Produktionsmanagements mehrere aneinander gekoppelte Produktiveinheiten Betrachtungsgegenstand.⁵³⁰ Die Produkte, welche sich im Produktionsprozess einer Produktiveinheit befinden, werden in einem kontinuierlichen Simulationsmodell als Bestand dargestellt. Sie selbst und die durch die Produktgestaltung mögliche Flexibilität ist nicht Untersuchungsgegenstand.⁵³¹ Produkte, die einen ähnlichen Produktionsprozess beanspruchen, sollten zu einem Hauptprodukt zusammengefasst werden.⁵³² Die einzelnen Produktiveinheiten einer Prozesskette können durch die Beschreibung entsprechender Leistungsparameter detailliert dargestellt werden. Die Wahl der Leistungsparameter und die Wahl der Grobkörnigkeit der Abbildung ist von den identifizierten Flexibilitätsproblemen abhängig. Bei der Modellerstellung ist darüber zu entscheiden, wie viele Einzelprozesse zu einer Produktiveinheit zusammengefasst werden und damit darüber, wie viele Einzelbestände zu einem Gesamtbestand zusammengefasst werden. Ein Grundsatz der Auswahl der abzubildenden Elemente in einem Simulationsmodell ist es, Hypothesen zu nutzen und Elemente zu beschreiben, die in der Realität ein Gegenstück besitzen.⁵³³ Darüber hinaus wird in der Literatur beschrieben, dass mindestens zwei Merkmale erfüllt sein müssen, um eine aggregierte Bestandsgröße in mehrere untergeordnete Bestandteile aufzulösen:⁵³⁴

- Merkmale, die in den einzelnen Bestandteilen attribuiert werden, weichen stark voneinander ab und die Betrachtung der unterschiedlichen Ausprägungen ist notwendig;
- die Dynamik innerhalb und zwischen den einzelnen Bestandteilen ist als hoch einzustufen und die Konsequenzen für das Gesamtsystem sind durch eine aggregierte Bestandsgröße nicht abbildbar.

Entsprechend dieser Maßgabe werden Produktiveinheiten, bei denen die unterschiedlichen Flexibilitätsträger, wie Personal und Betriebsmittel, zusammen geplant werden und ein ähnliches Verhalten zeigen, in einem Bestand zusammengefasst, während Prozesse mit eigenständigem, abweichendem Verhalten über die Zeit, separat dargestellt werden. Der Transformationsprozess innerhalb einer Produktiveinheit ist elementarer Bestandteil eines simulationsfähigen Systemmodells zur Abbildung von Flexibilitätsproblemen. Qualität und Quantität von Produktiveinheiten im Zeitverlauf haben entscheidenden Einfluss auf das Leistungsvermögen des Produktionssystems.

⁵³⁰ Vgl. Kapitel 2.2.1.3.

⁵³¹ Vgl. dazu die Klassifikation der Flexibilitätsträger in Kapitel 2.1.4.1, in der definiert wurde, dass Flexibilitätsobjekte nicht Untersuchungsgegenstand sein sollen.

⁵³² Zur Realisierung neuer, dezentraler Steuerungsverfahren, wie beispielsweise dem KPPS, wird ebenso vorgegangen. Vgl. Stadtler, H. (1998), S. 8. Bei Fabrikplanungsprojekten spricht man von Typenvertretern. CORSTEN nutzt im Rahmen der Produktionsprogrammierstellung innerhalb der taktischen Planung den Begriff Produktfeld. [Vgl. Corsten, H. (2000), S. 241.]

⁵³³ Vgl. Kapitel 5.2.2.

⁵³⁴ Vgl. Liehr, M. (2004), S. 229.

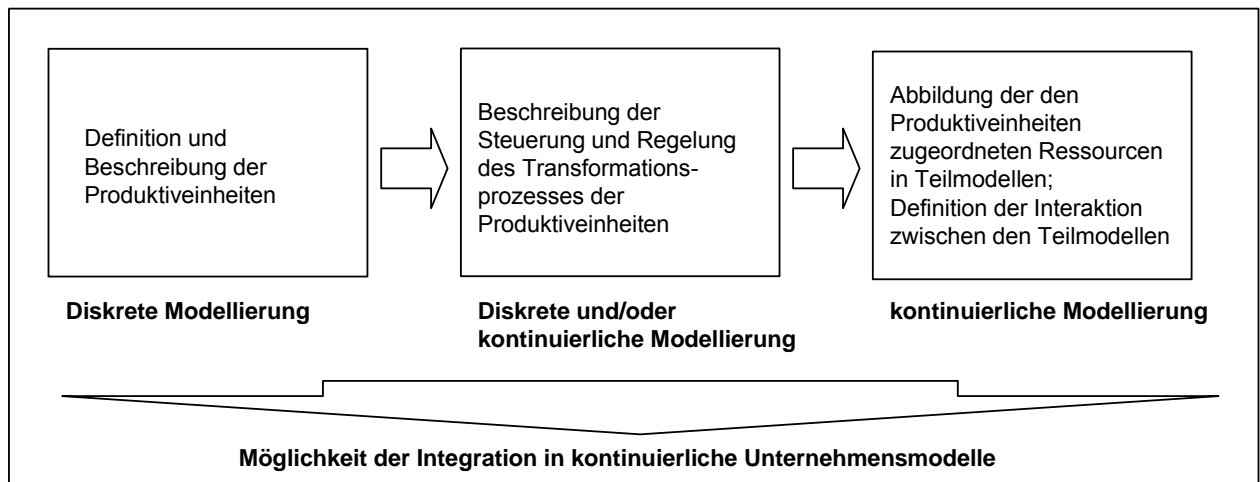


Abbildung 43: Elemente der Abbildung von Flexibilitätsproblemen⁵³⁵

Unterschiedliche Mechanismen zur Steuerung und Regelung der Produktiveinheiten beschreiben die vielfältigen Möglichkeiten der Gestaltung des Flexibilitätsangebotes. Dabei werden nicht nur einzelne Handlungsalternativen abgebildet. Vielmehr ist der gesamte Handlungsspielraum Untersuchungsgegenstand, der der operativen Ebene übergeben wird. Dieser sollte so gestaltet werden, dass er auftretender interner und externer Dynamik ein geeignetes Flexibilitätspotential gegenüberstellen kann. Veränderungen, beispielsweise des zu aktivierenden Leistungsvermögens des Produktionssystems im Zeitverlauf, können im Simulationsmodell sowohl ereignisdiskret als auch kontinuierlich abgebildet werden. Absolute Entscheidungsregeln mit kurzfristigem Entscheidungshorizont, wie beispielsweise Produktionssteuerungsverfahren, werden ereignisdiskret abgebildet. Die Entwicklung von Steuerungsparametern, die auf Erwartungen basieren, die sich langfristig im Zeitverlauf ergeben, finden sich in kontinuierlichen Modellteilen wieder.⁵³⁶ Durch Nutzung einer grafisch unterstützten Simulationssprache ist es möglich, nahezu jeden denkbaren Steuerungs- und Regelungsmechanismus abzubilden.⁵³⁷

Die Leistungserstellung innerhalb der Produktiveinheiten findet unter Ressourceneinsatz statt. Insbesondere die Veränderung der Leistungsfähigkeit der Produktiveinheiten setzt eine Veränderung von Qualität und Quantität der zum Betrieb der Produktiveinheit notwendigen Ressourcen voraus. Auf Erwartungen basierende Veränderungen der Anzahl von Ressourcen werden in kontinuierlichen Partialmodellen abgebildet. Die erstellten Partialmodelle können mit den Produktiveinheiten verknüpft werden, indem eine Zuordnung der für den Leistungserstellungsprozess notwendigen Ressourcen zu den Produktiveinheiten erfolgt. Es wird beispielsweise definiert, welche Produktionsmenge ein Prozess je Zeiteinheit bei unterschiedlicher Personalbesetzung leisten kann. Beziehungen, wie eine Steigerung der Leistungsfähigkeit bei steigendem Ressourceneinsatz oder steigender Intensität des Einsatzes vorhandener Ressourcen, sind dabei oft nicht linear.

⁵³⁵ Eigene Darstellung.

⁵³⁶ Vgl. Abschnitt 4.1.3.2.

⁵³⁷ Vgl. Kapitel 4.1.3.2 und 4.1.3.3.

Die Auswahl der in das Systemmodell zu integrierenden Steuerungs- und Regelungsmechanismen sowie der abzubildenden Partialmodelle wird durch die identifizierten hypothetischen Flexibilitätsprobleme determiniert, die ihren Eingang in eine dynamische Problembeschreibung durch Kausalschleifendiagramme gefunden haben.⁵³⁸ Die systemdynamischen Partialmodelle sollten sich mit anderen im Unternehmen erstellten Partialmodellen verbinden lassen. Dazu sind Schnittstellen vor und während der Modellerstellung zu definieren.

5.3.2.2 Abbildung des Materialflusses der Produktiveinheit

Für die Darstellung des Materialflusses können in einem Systemmodell Delays unterschiedlicher Ordnung genutzt werden.⁵³⁹ Bei Nutzung höherer Ordnungsgrade wird angenommen, dass die Abweichungen der individuellen Zykluszeit zwischen den einzelnen Produkten geringer werden und die Genauigkeit der Abbildung steigt. Innerhalb von Unternehmensmodellen wird zur Beschreibung einer Produktiveinheit in der Regel ein Material-Delay dritter Ordnung genutzt.⁵⁴⁰ Globalere Unternehmensmodelle gründen regelmäßig auf der Annahme, dass die aus der Produktionsplanung stammenden Produktionsmengen unabhängig vom aktuellen Zustand des Produktionssystems freigegeben werden. Entsprechend der Reglements eines Material-Delays ist es möglich, die Variation der Ankunftszeiten der einzelnen Elemente sowie die mittlere Ankunftszeit der Elemente zu verändern. Durch die Veränderung dieser Parameter, auch über die Zeit, ist es theoretisch möglich, die Dynamik innerhalb einer Produktiveinheit abzubilden. Regelmäßig sind jedoch einerseits die Größen in den Modellen als Konstanten abgebildet und andererseits kann die Verteilungsfunktion selbst durch Parametervariation nicht verändert werden.⁵⁴¹ Informationen über Veränderungen der mittleren Durchlaufzeit sowie über Abweichungen der Ankunftszeiten lassen sich in Unternehmen nur auftragsbezogen und auf allerhöchstem Aggregationsniveau, wie zum Beispiel in Form von Statistiken über die Auftragsbearbeitung, erheben. Ein in dieser Form modelliertes Produktionssystem besitzt nicht genügend Transparenz und Nachvollziehbarkeit bezüglich des Materialdurchlaufes. Eine Zusammenfassung der Dynamik einer Produktiveinheit durch ein Material-Delay eignet sich aus diesem Grund nur für Modelle, in denen eine hoch aggregierte Abbildung des Produktionsbereiches ein notwendiger Modellbestandteil, nicht jedoch expliziter Untersuchungsgegenstand ist. Zur Abbildung diskreter Materialflüsse soll deshalb die Form der diskreten Modellbildung genutzt werden. Unter Nutzung kontinuierlicher Simulationswerkzeuge kann dies durch Pipeline-Delays realisiert werden, welche ein Integral unendlicher Ordnung beschreiben.⁵⁴²

Die Verwendung diskreter Simulationsmodelle für die Abbildung von Materialflüssen ist weiterhin deshalb vorteilhaft, weil Leistungsparameter der Produktiveinheiten, wie Auslastung oder Durchlaufzeit, anschaulich abgebildet werden können und damit die Akzeptanz des Einsatzes von Simulationsverfahren bei den Beteiligten erhöht wird. Gleichsam entspricht die

⁵³⁸ Vgl. Kapitel 5.2.2.2.

⁵³⁹ Vgl. Kapitel 4.2.2.2 und 4.2.2.3.

⁵⁴⁰ Vgl. Kapitel 4.2.2.3.

⁵⁴¹ Vgl. die Ausführungen zur Streuung der mittleren Ankunftszeiten bei einem Material-Delay in Kapitel 4.2.2.3.

⁵⁴² Vgl. Kapitel 4.2.2.3.

Vorgehensweise der Erstellung von Simulationsmodellen bei der Fabrikplanung sowie der Modellerstellung bei der Durchführung von Optimierungsprojekten.⁵⁴³

Eine elementare Produktiveinheit, welche eine Leistungsbeschreibung durch Zuordnung von Ressourcen erlaubt, lässt sich, wie in Abbildung 44 dargestellt, in System-Dynamics-Notation modellieren. Ebenso ist es möglich, diskrete Simulationsprogramme für die Beschreibung der Produktiveinheiten zu nutzen, und die Leistungsparameter, die zur Steuerung und Bewertung der Produktiveinheit dienen, über eine Schnittstelle an eine kontinuierliche Simulationssoftware zu übergeben. Der für die kontinuierliche Simulation gewählte TIMESTEP sollte dazu mit den für die diskrete Modellierung gewählten Zeitinkrementen übereinstimmen. Bei der Auswahl der diskreten Software muss berücksichtigt werden, dass ein Datenaustausch in beide Richtungen gewährleistet ist, um Auswirkungen von Veränderungen der der Produktiveinheit zugeordneten Ressourcen auf die Produktiveinheit, die in einem kontinuierlichen Modellbestandteil abgebildet werden, in das diskrete System zurückgeben zu können. Aufgrund der Vielzahl möglicher Schnittstellenprobleme wurde in der vorliegenden Untersuchung eine kombinierte Darstellung innerhalb einer Simulationsumgebung angestrebt, die beide Simulationsarten unterstützt.⁵⁴⁴

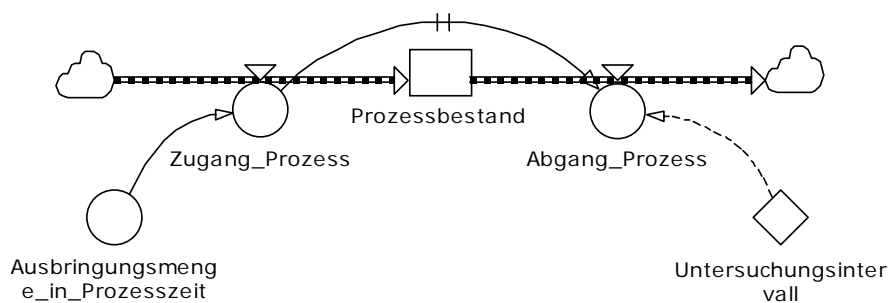


Abbildung 44: Modell einer Produktiveinheit⁵⁴⁵

Die Produktiveinheit, wie auch alle anderen diskreten Materialflüsse, wie beispielsweise Finanzflüsse, können in einem System-Dynamics-Modell durch die mathematische Konstruktion von Level-Rate-Kombinationen, innerhalb derer eine sofortige Berechnung der Werte der Variablen erfolgt, dargestellt werden.⁵⁴⁶ Zur Beschreibung des Materialflusses wird ein Material Delay unendlicher Ordnung genutzt.⁵⁴⁷

⁵⁴³ Mit der Methode des Wertstromdesign wird das Ziel verfolgt, die Durchlaufzeiten drastisch zu verkürzen und gleichzeitig Fehler und Ausschuss zu reduzieren. Dazu werden wesentliche Elemente der Produktiveinheiten in einem diskreten Simulationsmodell beschrieben. Eine Aneinanderreihung von Produktiveinheiten beschreibt einen Wertstrom, wobei sich die Regeln, die sich ursprünglich auf das Toyota-System zurückführen lassen, im gewählten Ansatz wieder finden. [Vgl. Mittelhuber, B.; Kallmeyer, O. (2002).]

⁵⁴⁴ Vgl. Kapitel 4.1.3.3.

⁵⁴⁵ Eigene Darstellung.

⁵⁴⁶ Unter Powersim können die Raten dazu auf die Integrationsvariable "Zero Order" (ZO) für eine Berechnung der Werte am Ende eines TIMSTEP oder „Zero Order Immediate“ (ZOI) für eine Berechnung am Beginn eines TIMSTEP genutzt werden.

⁵⁴⁷ Vgl. Kapitel 4.2.2.3.

Definition L: Prozessbestand

‘Prozessbestand’ Level		[St]
Initialwert: 0<<St>>		
Korrespondierend: +Zugang_Prozess.in -Abgang_Prozess.out		

Definition A: Zugang_Prozess

‘Zugang_Prozess’ Auxiliary, ZOI		[St]
Ausbringungsmenge_in_Prozesszeit		

Definition A: Abgang_Prozess

‘Abgang_Prozess’ Auxiliary, ZOI		[hr]
DELAYPPL(Zugang_Prozess;Untersuchungsintervall)		

Das Untersuchungsintervall wird als gleich für alle Produktiveinheiten angenommen und stellt den **TIMESTEP** des Simulationsmodells dar.⁵⁴⁸ In der Praxis spiegelt das „Untersuchungsintervall“ das Zeitintervall wieder, dass genutzt wird, um Aufzeichnungen über Verfügbarkeiten der Produktiveinheit oder ihre Leistungsfähigkeit zu Steuerungs- und Bewertungszwecken an die übergeordnete Ebene weitergeben zu können. Aus diesem Grund stehen Veränderungen der „Ausbringungsmenge“ immer im Verhältnis zum „Untersuchungsintervall“. Sie geben damit Aufschluss über die Leistungsfähigkeit der Produktiveinheit in der Dimension Mengeneinheit je Zeiteinheit. Auswirkungen von Veränderungen der in einer bestimmten Qualität und Quantität beschriebenen Ressourcen auf die Leistungsfähigkeit der Produktiveinheit sind über die Variable „Ausbringungsmenge“ möglich. Es können realisierbare „Ausbringungsmengen“ je „Untersuchungsintervall“ in das Verhältnis zu einer bestimmten Anzahl notwendiger Ressourcen gesetzt werden.

⁵⁴⁸ Bei der Wahl des **TIMESTEP** ist darauf zu achten, dass er klein genug ist, um die kürzeste Verzögerungszeit der kontinuierlichen Modellbestandteile abbilden zu können.

5.4 Unterstützung bei der Flexibilitätsgestaltung

5.4.1 Erzeugung von Simulationsszenarien

Ergebnisse von Simulationsläufen sind dazu geeignet, Entscheidungen über Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen zu unterstützen. In unterschiedlichen Szenarien wird das Systemverhalten bei Auftreten des identifizierten Flexibilitätsbedarfs untersucht. Es wird überprüft, welche Auswirkungen Änderungen des Flexibilitätsangebotes auf die Systemziele haben. Mögliche Änderungen können alle Merkmale des identifizierten Flexibilitätsangebotes betreffen. Die unterschiedlichen Merkmale des Flexibilitätsangebotes lassen sich, wie in Abbildung 45 gezeigt, in einen Regelkreis einordnen.⁵⁴⁹ So beschreiben unterschiedliche Konstellationen von Handlungsalternativen unterschiedliche Handlungsspielräume der übergeordneten Ebene des Ausführungssystems. Die Umsetzung von Handlungsalternativen kann mit unterschiedlichen dazu erforderlichen Handlungszeiten und der Nutzung unterschiedlicher Ressourcen verbunden sein. Die Bereitstellung erforderlicher Ressourcen und die Herstellung der Funktionsfähigkeit des Produktionssystems unter Nutzung von Handlungsspielräumen verursacht deshalb regelmäßig unterschiedliche Handlungskosten.

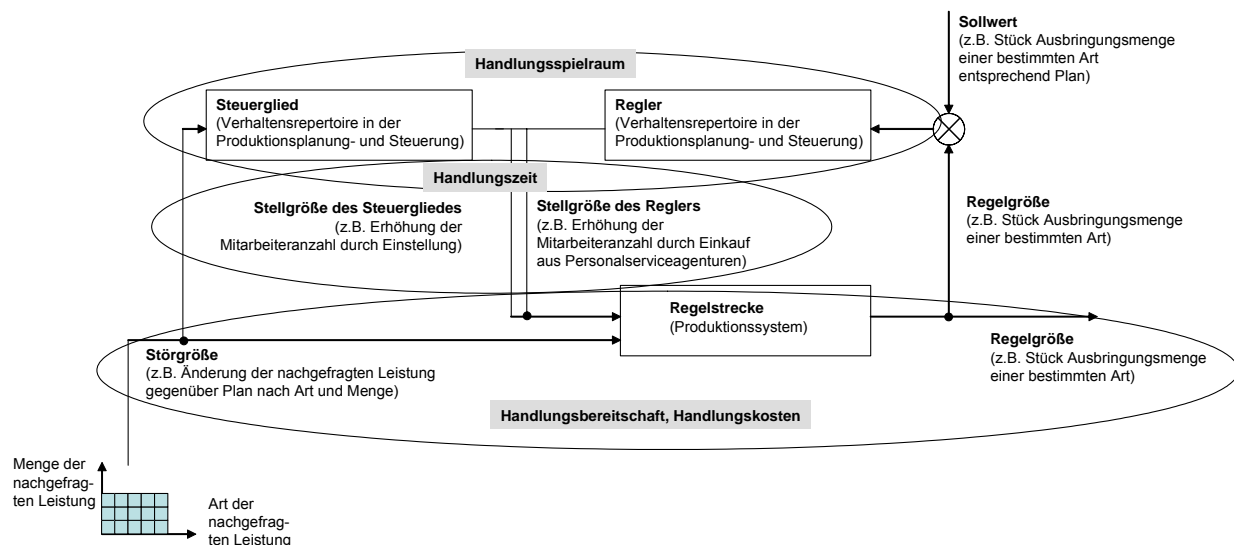


Abbildung 45: Auswertung des Simulationsmodells zur Ableitung von Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen⁵⁵⁰

Entscheidend bei der Auswertung der Simulationsläufe sind einerseits die Entwicklung der verfolgten Systemziele und andererseits das Modellverhalten über die Zeit. Ausgangspunkt für die Simulationsläufe bilden die im Rahmen der Definition der Flexibilitätsprobleme identifizierten unerwünschten Verhaltensweisen. Es erfolgt eine Prüfung der Gültigkeit der Hypothesen durch Simulationsläufe. Der vorhandene oder zukünftige Handlungsspielraum auf übergeordneter Ebene bietet die Ausgangsbasis. In jedem Szenario wird geprüft, ob und in welcher Form bei Veränderung der Handlungsspielräume Handlungsziele erreicht werden können. So ist es möglich, dass trotz oder gerade wegen Erfüllung einer Zielstellung, andere Zielstellungen nicht

⁵⁴⁹ Im Regelkreis beschreiben Steuerglied und Regler die Handlungsspielräume der operativen Ebene.

⁵⁵⁰ Eigene Darstellung in Anlehnung an Baetge, J. (1974), S. 23 - 36.

verfolgt werden. Ebenso ist es möglich, dass sich im Zeitverlauf negative Zielerreichungsgrade überlagern. Eine Untersuchung des Modellverhaltens über die Zeit unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen den Systemvariablen ist deshalb erforderlich. Die Hypothesen über auftretende Flexibilitätsprobleme können auf diese Weise durch Simulationsläufe bestätigt oder widerlegt werden. Mit diesen Ergebnissen werden Hinweise auf die Gestaltung der Flexibilitätsmerkmale zur Anpassung des Flexibilitätpotentials gegeben.

5.4.2 Wirtschaftliche Bewertung der Flexibilität

Die Erfüllung von Zielerreichungsgraden kann oft mit einer finanziellen Bewertung verknüpft werden. Unter den vorhandenen Ansätzen zur Flexibilitätsgestaltung auf taktischer Ebene wird eine wirtschaftliche Bewertung der Flexibilität durch das Abzinsen der Ein- und Auszahlungen, welche sich aus dem Produktionsaufbau und -betrieb ergeben, auf einen Barwert vorgeschlagen.⁵⁵¹ Dieser Vorgehensweise soll in der vorliegenden Untersuchung gefolgt werden, zu deren Umsetzung, wie in Abbildung 46 gezeigt, zwei Bestände modelliert werden.

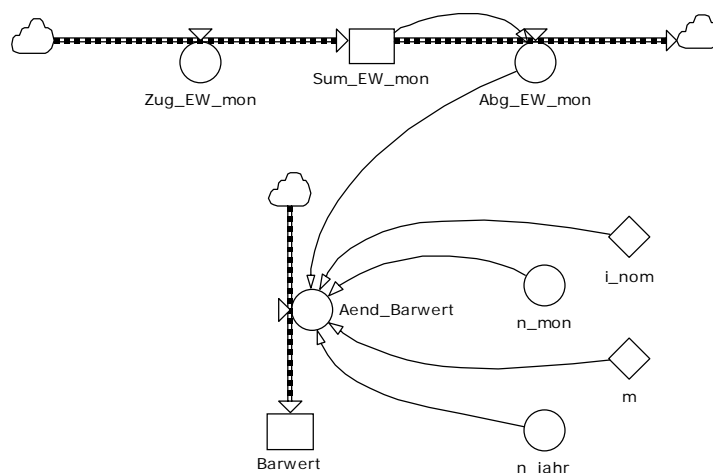


Abbildung 46: Modellierung der Ermittlung des Barwertes

Zunächst wird die Summe der monatlichen Ein- und Auszahlungen ermittelt, um einen monatlichen Endwert, 'Sum_EW_mon' zu erhalten, der abgezinst wird. Die Variable Zug_EW_mon beschreibt die Zugänge positiver und negativer Zahlungsströme innerhalb eines betrachteten Monats. Sie enthält das Produkt aus der Menge an Gütern und einen Verrechnungssatz, der als eigenständige Variable abgebildet werden kann.

Definition L: Sum_EW_mon		
'Sum_EW_mon' Level	Summe monatlicher Endwerte	[EUR]
Initialwert: 0<<EUR>>		
Korrespondierend: +Zug_EW_mon.in –Abg_EW_mon.out		

⁵⁵¹ Vgl. Kapitel 3.2.4.

Definition A: Zug_EW_mon

‘Zugang_Prozess’ Auxiliary, ZO	Zugang zum monatlichen Endwert	[EUR]
x<<St>> / y<<EUR>>/1<<St>>		

Definition A: Abg_EW_mon

‘Abgang_Prozess’ Auxiliary, ZOI	Abgang des monatlichen Endwert	[EUR]
IF(DAY(TIME)=1 AND HOUR(TIME)=0 AND MINUTE(TIME)=0 AND SECOND(TIME)=0;Sum_EW_mon;0<<EUR>>)		

Der monatliche Endwert wird am Monatsende durch ‘Abg_EW_mon’ an die Variable Aend_Barwert übergeben und ist Grundlage für die Berechnung des Barwertes. Aend_Barwert führt die Berechnung des Barwertes durch und korrigiert den ‘Barwert’ monatlich über den Simulationslauf.

Definition L: Barwert

‘Barwert’ Level	Barwert	[EUR]
Initialwert: 0<<EUR>>		
Korrespondierend: + Aend_Barwert		

Definition A: Aend_Barwert

‘Aend_Barwert’ Auxiliary, ZOI	Zugang zum monatlichen Endwert	[EUR]
DIVZX((Abg_EW_mon/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon));((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr);(Abg_EW_mon/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)))		

Zur Berechnung des Barwertes durch die Variable ‘Aend_Barwert’ wird eine unterjährige nachschüssige Abzinsung mit monatlicher Zinsperiode und einem definierten Nominalzinssatz modelliert. Die auflaufenden Zahlungen werden nach dem deutschen Bankkalender monatlich abgezinst. Dazu erfolgt innerhalb der Variablen ‘Aend_Barwert’ zunächst eine monatliche Abzinsung bis auf das letzte vollendete Jahr (Formel 1). Dieser Wert wird dann jährlich auf den Zeitpunkt des Simulationsbeginns abgezinst (Formel 2).⁵⁵²

$$BW_{mon} = \frac{EW_{mon}}{\left(1 + \frac{i_{nom}}{m * 100}\right)^{n_{mon}}} \quad (\text{Formel 1})$$

$$BW = \frac{BW_{mon}}{\left(1 + \frac{i_{nom}}{m * 100}\right)^{m * n_{jahr}}} \quad (\text{Formel 2})$$

EW_{mon} – monatlich abzuzinsende Endwerte

BW_{mon} – auf den jeweiligen Jahresbeginn monatlich abgezinste Endwerte

i_{nom} – Nominalzinssatz

m – Anzahl der Verzinsungsintervalle

n_{mon} – Anzahl der monatlichen Zinsperioden zur Abzinsung auf den jeweiligen Jahresbeginn

n_{jahr} – Anzahl der jährlichen Zinsperioden zur Abzinsung auf das aktuelle Jahr

Mit der Auswertung des Simulationsmodells zur Ableitung von Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen schließt der Flexibilitätsmanagementzyklus. Neben dem Verlauf gewählter Kenngrößen wird durch die Barwertberechnung eine monetäre Bewertung des Systemverhaltens mit dem jeweiligen Flexibilitätsniveau möglich.

⁵⁵² Vgl. Radke, M. (1999), S. 30.

6 Evaluation der entwickelten Vorgehensweise an einem Fallbeispiel

6.1 Betrachtungsgegenstand des Fallbeispiels

Das sechste Kapitel dient der Evaluation der im fünften Kapitel entwickelten Vorgehensweise an einem Fallbeispiel. Für einen Produktionsbereich, der im ersten Unterkapitel skizziert wird, erfolgen die Gegenüberstellung von Flexibilitätsbedarf und –angebot, die Ableitung hypothetischer Flexibilitätsprobleme sowie die Erstellung und Auswertung eines simulationsfähigen Modells. Das Kapitel endet mit einer kritischen Würdigung der Anwendung der entwickelten Vorgehensweise.

Das vorliegende Fallbeispiel lehnt sich mit leicht verfremdeten Daten an eine in einem Unternehmen durchgeführte Prozessanalyse an. Betrachtet wird der Produktionsprozess der Produktion einer Produktfamilie in einem mittelständischen Unternehmen der Automobilzulieferindustrie mit etwa 800 Mitarbeitern. Das Unternehmen beschäftigt sich mit der mechanischen Bearbeitung von Gussrohlingen und der Montage dieser eigengefertigten Zwischenprodukte und weiterer Zukaufteile zu Modulen für die Finalproduzenten. Für die Produkte der Produktfamilie wird zukünftig ein sich änderndes qualitatives und quantitatives Nachfrageverhalten prognostiziert. Abbildung 47 zeigt den Prozess der Produktion der Produktfamilie⁵⁵³.

Die Produkte werden aufgrund vorhandener Kapazitäten weitestgehend durch andere Kostenstellen des Unternehmens produziert, wobei die entstehenden Kosten mit einem Verrechnungspreis pro Stück mit der betrachteten Kostenstelle, der Kostenstelle IV, verrechnet werden. Dies betrifft die Prozesseinheit I mit den Teilprozessen Drehen und Bohren sowie die Prozesseinheit II mit den Teilprozessen Verzahnen, Härten und Nieten. Das Schleifen der Verzahnung und das Festigkeitsstrahlen sind Bearbeitungsprozesse, die aufgrund der unzureichenden Ausstattung an Betriebsmitteln nicht im Unternehmen durchgeführt werden können. Sie werden zentral an eine andere, 292 Kilometer entfernte Betriebsstätte desselben Unternehmens vergeben. Der Produktionsprozess wird mit dem Push-Prinzip bedient.

⁵⁵³ Im Folgenden wird für Produkte aus der betrachteten Produktfamilie vereinfachend von Produkten gesprochen.

6.2 Ermittlung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot

6.2.1 Beschreibung von Flexibilitätsbedarf

Aufgrund aktueller Entwicklungen auf dem Absatzmarkt wird das Ziel verfolgt, weiterhin nur die Produktfamilien selbst zu fertigen, die nachweislich wirtschaftlichen Erfolg bringen. Die Abteilung „taktische Produktionsplanung“ wird deshalb zu einer Prüfung der Wirtschaftlichkeit der Fertigung einzelner Produktfamilien aufgefordert, die bisher nicht durchgängig erfolgte. Berücksichtigung finden mit der Kostenstelle verrechnete Flächenkosten, Kapitalbindungskosten und Personalkosten. Unwirtschaftliche Produktfamilien sollen zukünftig extern beschafft werden.

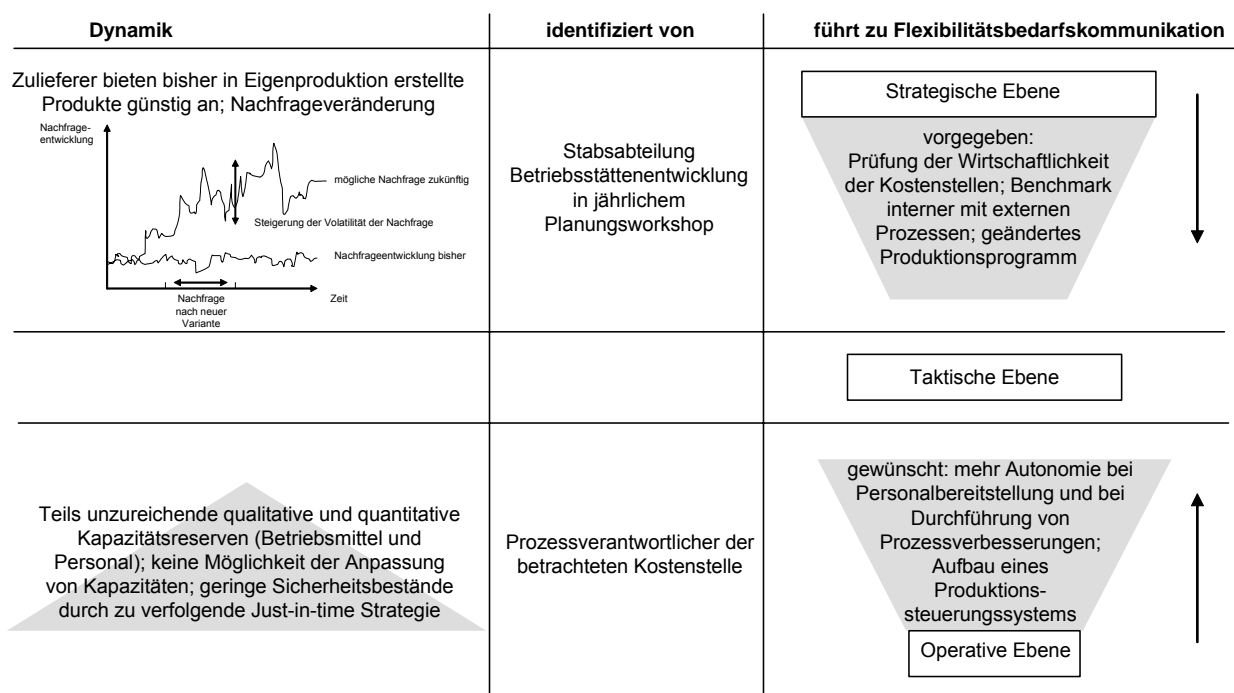


Abbildung 48: Ermittlung der Flexibilitätsanforderungen⁵⁵⁵

Durch das Management auf der strategischen Ebene werden Änderungen der Art und Menge der Nachfrage kommuniziert. Das prognostizierte Produktionsprogramm zeigt eine steigende Volatilität der Nachfrage sowie eine Nachfrage weiterer Varianten innerhalb des betrachteten Produktionsprogramms. Die Stabsabteilung kommuniziert einen typischen Nachfrageverlauf für die prognostizierte Entwicklung, der von dem bisherigen Nachfrageverlauf abweicht und in Abbildung 48 als Teil eines Technologiekalenders skizziert wurde. Eine Produktion mit einer Produktionssteuerung nach dem Push-Prinzip wird zukünftig nicht mehr ausreichen. Es soll über differenziertere Produktionssteuerungsverfahren nachgedacht werden.

Intern werden durch den Prozessverantwortlichen der betrachteten Kostenstelle bei Eintreffen der prognostizierten Nachfrage an verschiedenen Stellen unzureichende qualitative und

⁵⁵⁵ Eigene Darstellung.

quantitative Kapazitäten vorhergesagt. Die Mitarbeiter im Produktionsprozess auf operativer Ebene stellen schwankende Verfügbarkeiten und Rationalisierungspotential fest. Eine geringe Lieferzeit und ein hoher Servicegrad sind aus ihrer Sicht ohne Produktionssteuerung nicht realisierbar. Aufgrund der Nutzung zahlreicher anderer interner Kostenstellen, wird angenommen, dass keine Steuerung innerhalb des Prozesses umsetzbar ist. Eine Änderung der Steuerung des Gesamtprozesses, die über den Anstoß der Fertigung nach dem Push-Prinzip hinausgeht, wird angestrebt.

6.2.2 Beschreibung von Flexibilitätsangebot

Das Flexibilitätsangebot des betrachteten Produktionsprozesses lässt sich, wie in Tabelle 11 dargestellt, mit der Matrix, welche die Gestaltungsbereiche der Flexibilität abbildet, beschreiben.

Tabelle 11: Abbildung des Flexibilitätsangebots⁵⁵⁶

	Bestandsflexibilität		Entwicklungsflexibilität	
	Betriebsmittel	Personal	Betriebsmittel	Personal
Quantitativ	- Programmierung bestehender Betriebsmittel zur Reduktion von Rüstzeiten	- nicht möglich, da nach Abstimmung mit Betriebsrat im Gesamtunternehmen in zwei Schichten gefahren wird	- nicht möglich, da strategisch die Make-or-by Strategie die Nutzung vorhandener Betriebsmittel oder den Zukauf von Halbfabrikaten vorsieht	- Einstellung von Festangestellten und Zeitarbeitern auf die Kostenstelle möglich
Qualitativ	- Programmierung bestehender Betriebsmittel zur Produktion weiterer Varianten	- Qualifikationsniveau zur Bedienung und zur Steuerung der Betriebsmittel	- nicht möglich, da vorhandene Betriebsmittel zu nutzen sind; in Grenzen Zukauf von Komponenten möglich	- Einstellung von Schulungspersonal möglich

Beim Anlagenbestand ist für den betrachteten Prozess keine Veränderung geplant. Die Betriebsmittel sind deshalb bezüglich ihrer Entwicklungsflexibilität unflexibel. Die vorhandenen Betriebsmittel sind jedoch in dem Sinne bestandsflexibel, dass durch Programmierung der speicherprogrammierbaren Steuerungen eine Verbesserung unterschiedlicher qualitativer und quantitativer Leistungsparameter vorgenommen werden kann.

Die Mitarbeiter des Unternehmens arbeiten traditionell im Zwei-Schicht-Betrieb. Eine zeitliche Anpassung der täglichen Betriebszeit durch das bestehende Personal ist durch eine mittelfristige Vereinbarung mit dem Betriebsrat nicht möglich. Das bestehende Personal kann jedoch jederzeit durch Qualifikationsmaßnahmen weitergebildet werden.

Die detaillierte inhaltliche und räumliche Zuordnung von Flexibilitätsbedarf und -angebot erfolgt durch die Beschreibung hypothetischer Flexibilitätsprobleme.

⁵⁵⁶ Eigene Darstellung.

6.3 Formulierung von Flexibilitätsproblemen

6.3.1 Identifikation und Beschreibung von Flexibilitätsproblemen

Zur Beschreibung von Flexibilitätsproblemen werden, wie Tabelle 12 zeigt, Bedarf und Angebot gegenübergestellt, um die Frage zu beantworten, welchen aktuellen und zukünftigen Flexibilitätsanforderungen welches Flexibilitätsangebot gegenüber steht oder welches Flexibilitätsangebot gegenüberzustellen geplant ist.⁵⁵⁷ Die aus möglichen Disparitäten entstehenden dynamischen Hypothesen über mögliche Flexibilitätsprobleme lassen eine genaue Lokalisierung möglicher Probleme zu, wie Tabelle 12 für das Fallbeispiel zeigt. In diesem werden vier Hypothesen über Flexibilitätsprobleme aufgestellt.

⁵⁵⁷ Vgl. Kapitel 5.2.2.1.

Tabelle 12: Formulierung hypothetischer Flexibilitätsprobleme

Beschreibung des Problems		Flexibilitätsproblem I Stichwort Personalbereitstellung	Flexibilitätsproblem II Stichwort Produktionssteuerung	Flexibilitätsproblem III Stichwort Prozessveränderungen	Flexibilitätsproblem IV Stichwort Rationalisierungspotential
1) Welchen aktuellen Flexibilitätsanforderungen und welchen zukünftigen Flexibilitätsanforderungen ... { weiter bei 2) }	Ursprung	Nachfrageänderung - Steigerung der Volatilität und Höhe der Nachfrage (extern)	kurze Lieferzeiten und hohe Termintreue externer Wettbewerber (extern)	mittelfristig Nachfrage nach neuen Varianten (extern)	im Rahmen des KVP erkannt Rationalisierungspotential - aufgrund vorhandener Engpässe (intern)
	Zielwirkung	Zielabträglich, weil mit aktueller Personalbesetzung nicht produzierbar -> drohende externe Vergabe der Produktion	Zielabträglich durch schlechtere Verrechnungssätze	Zielabträglich (im Zweifel keine Befriedigung der Nachfrage möglich)	zielabträglich (längere Lieferzeit, Servicegradverschlechterung, höhere Flächenkosten)
	Eintritts-WK	100%	100%	100%	100%
	Entwicklungstendenz	jeweils sprunghaft	im Zeitverlauf zunehmend	sprunghaft	im Zeitverlauf zunehmend
	Wirkungsrichtung	expansiv und kontrahierend im Sinne der notwendigen Einstellung und Entlassung von Personal	expansiv und kontrahierend im Sinne einer Erweiterung und Reduktion des Produktionsprogrammes	expansiv im Sinne der Erhöhung des qualitativen Leistungsvermögens des Produktionssystems	sowohl expansiv im Sinne der temporären Einstellung von Personal als auch kontrahierend im Sinne langfristig kürzerer Zyklenzeiten
2) ... steht welches Flexibilitätsangebot gegenüber oder ist welches Flexibilitätsangebot gegenüberzustellen geplant? { weiter bei 3) }	Art des Eintritts, Dauer	prognostizierbar, Stufenweise, temporär	nicht prognostizierbar	innerhalb eines Zeitraumes; langfristig bestehend	innerhalb eines Zeitraumes; langfristig bestehend
	Nachhaltigkeit der Wirkung	Nutzung bestehender Handlungsspielräume	Aufbau neuer Handlungsspielräume	Aufbau neuer Handlungsspielräume	Aufbau neuer Handlungsspielräume
	Vertrautheitsgrad	unbekannt	bekannt	bekannt aus anderem Projekt	bekannt aus anderem Projekt
	Wo	Produktivitätseinheit Komplettieren	global	Produktivitätseinheit Verzahren	Produktivitätseinheit Verzahren
	Welche Verhaltensweise?	in kurzer Zeit stark schwankender Personalbedarf kann nicht bedient werden, so dass sich Servicegrad und weitere Parameter verschlechtern	schlechte Servicegrade, geringe Verrechnungspreise und Überschreiten der Lieferzeiten, die durch die Konkurrenz vorgegeben werden, bei hohen Sicherheitsbeständen hohe Flächenverrechnungssätze	Nachfrage nach bestimmter neuer Variante kann nicht befriedigt werden	auf Nachfrageänderungen kann nicht schnell genug reagiert werden, weil die Durchlaufzeit zu hoch ist; Servicegrad und weitere Parameter verschlechtern sich
3) Wo im Produktionssystem kann dies zu welchen Verhaltensweisen führen?	Handlungsspielraum	Einsatz von Zeitabeltern	Sicherheitsbestanderhöhung, Berücksichtigung vorhandener Aufträge sowie von Bestandsdifferenzen bei der Erstellung des Produktionsprogrammes, alternative Steuerung innerhalb des Prozesses nicht möglich	Einstellung von Facharbeitern für ein Rationalisierungsprojekt zur Erhöhung der Anzahl bearbeitbarer Varianten	Einstellung von Schulungspersonal für ein Rationalisierungsprojekt zur Reduzierung von Rüstzeiten
	Handlungsbereitschaft	100% vorhanden	100% vorhanden	100% vorhanden, Berücksichtigung der Lernkurve	100% vorhanden, Berücksichtigung der Lernkurve
	Handlungszeit	Zeitraum bis zur Meldung des Personalbedarfes, Einstellungszeit	unmittelbare Umsetzung möglich	Zeiten für Personalbereitstellung (Einstellungszeit), Zeit zur Durchführung der Maßnahmen (Projektdauer), Umsetzungseffizienz in der Linie (Anlaufkurve)	Zeiten für Personalbereitstellung (Einstellungszeit), Zeit zur Durchführung der Schulungsmaßnahmen (Schulungsdauer), Umsetzungseffizienz in der Linie (Anlaufkurve)
	Flexibilitätskosten	Kosten für Zeitarbeiter	Änderung der Steuerung ohne EDV-Unterstützung ohne Kosten; bei Erhöhung des Sicherheitsbestandes: Erhöhung der Flächenverrechnungssätze	Änderung der Steuerung ohne EDV-Unterstützung ohne Kosten; Kosten für Facharbeiter des Rationalisierungsprojektes	Kosten für Schulungspersonal des Rationalisierungsprojektes

Durch das Management der strategischen Ebene wurde externen Wettbewerbern eine hohe Leistungsfähigkeit attestiert. Bei steigender Volatilität der Nachfrage wird zukünftig eine Produktionssteuerung zu integrieren sein, um eine strikte Einhaltung von Lieferzeit und Servicegrad gegenüber dem Kunden, der abnehmenden Kostenstelle „Montage“, zu gewährleisten. Die Steuerung des Produktionsprozesses soll dabei dezentral für die Produktfamilien bei den sie betreuenden Kostenstellen erfolgen. Für den betrachteten Prozess kann aufgrund der Vielzahl beanspruchter Kostenstellen keine Änderung der Prozesssteuerung innerhalb des Prozesses erfolgen. Eine alternative Produktionsprogrammplanung für den dargestellten Produktionsprozess ist denkbar.

Bei steigender Höhe und Volatilität der Nachfrage wird vorhergesehen, dass innerhalb des Prozesses Kompletieren die bisher vorhandene Personalbesetzung nicht ausreicht. Die mit gering qualifizierten Zeitarbeitern besetzte Kostenstelle bedarf zukünftig einer Personalplanung. Es wird befürchtet, dass wechselnden Kapazitätsanforderungen an der mit Mitarbeitern einer Zeitarbeitsfirma besetzten Produktiveinheit „Kompletieren“ nicht entsprochen werden kann.

Bedarf an einer Veränderung bestehender Prozesse besteht durch die zu erwartende Nachfrage neuer Varianten, die in der Produktiveinheit „Verzahnen“ mit der bestehenden Anlagenkonfiguration nicht mehr produziert werden können. Zum Verzahnen werden die Werkstücke gefräst, entgratet und gewaschen. Ein Umbau der Anlage ist erforderlich, weil die Varianten aufgrund geänderter Geometrie nicht gefertigt werden können. Beim Hochfahren der Produktiveinheit nach der Umstellung ist eine Anlaufkurve zu erwarten, wie sie Umbauarbeiten an ähnlichen Anlagen innerhalb des Unternehmens schon gezeigt haben.

Aus der bestehenden Prozessdynamik des Prozesses „Verzahnen“ wird erkannt, dass über das angesprochene qualitative Potential hinaus auch quantitatives Optimierungspotential vorhanden ist. Der Prozess wird hauptsächlich von unterschiedlichen Varianten anderer Produktfamilien genutzt, so dass aufgrund erhöhten Umrüstaufwandes für die Bearbeitung der betrachteten Produktfamilie derzeit hohe Losgrößen gefertigt werden. Durch Optimierungsmaßnahmen, wie einer Umprogrammierung der SPS-Steuerung könnte die Losgröße reduziert werden. Die notwendigen Anpassungsmaßnahmen wie die Programmierung der Steuerung und der Umbau der Anlage decken sich mit Vorgehensweisen, wie sie an anderer Stelle im Unternehmen schon vorgenommen wurden.

6.3.2 Dynamische Abbildung von Flexibilitätsproblemen

Wechselwirkungen zwischen den Elementen der identifizierten Flexibilitätsprobleme können in einem Kausalschleifendiagramm abgebildet werden, wie Abbildung 49 zeigt. Das Kausalschleifendiagramm ist Grundlage für die Erstellung des Simulationsmodells.

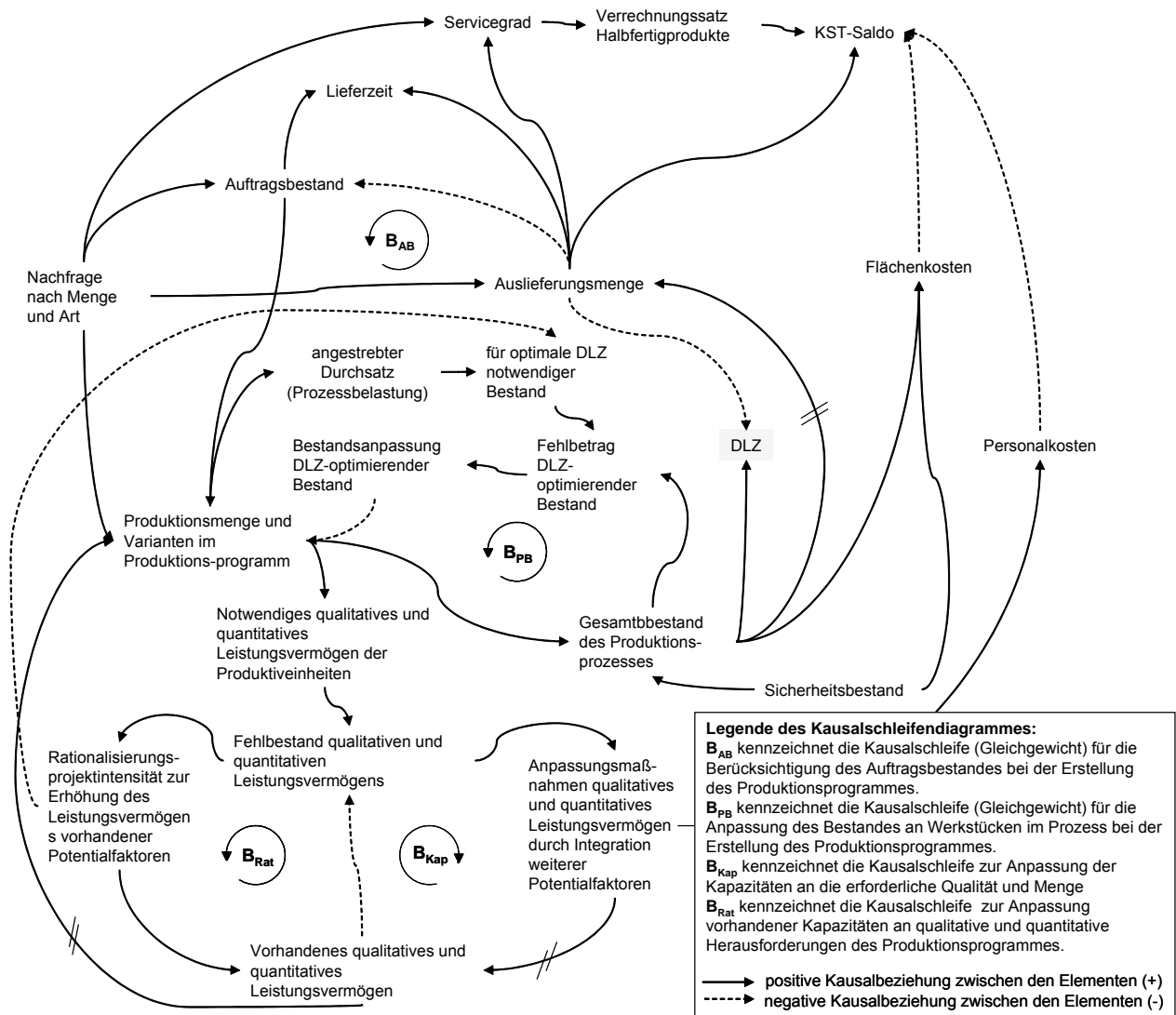


Abbildung 49: Kausalschleifendiagramm zur dynamischen Abbildung von Flexibilitätsproblemen⁵⁵⁸

Im Rahmen der Definition von Flexibilitätsproblemen werden als Folge der steigenden Volatilität der Nachfrage neue Herausforderungen für die Produktionssteuerung gesehen. Bei einem Beibehalten der Push-Steuerung wird ein unzureichendes Anpassungsverhalten des betrachteten Prozesses unterstellt, welches zu Überschreitungen der angestrebten Lieferzeit und einer Verschlechterung des Servicegrades führen kann. Folgt man dieser Argumentation im Kausalschleifendiagramm, so führt bisher eine Erhöhung der „Nachfrage nach Art und Menge“ zu einer Erhöhung der „Produktionsmenge und Varianten im Produktionsprogramm“, was eine Erhöhung des „Bestandes im Produktionsprozess“ zur Folge hat. Nach Durchlauf durch den Produktionsprozess steigt die Anzahl an Fertigprodukten und damit steigen bei gleich bleibend

⁵⁵⁸ Eigene Darstellung.

erhöhter Nachfrage die „Auslieferungen“. In dem Zeitraum, in dem sich der Prozess diesem neuen Gleichgewicht anpasst, steigt der „Auftragsbestand“ kontinuierlich an und verbleibt auf hohem Niveau, so dass die „Lieferzeit“ ebenfalls steigt und auf hohem Niveau verbleibt.

Zukünftig sollte deshalb der Produktionsprozess so gesteuert werden, dass ein sinkender „Auftragsbestand“ zu einem Sinken der Größe „Produktionsmenge und Varianten im Produktionsprogramm“ führt. Durch die Berücksichtigung des Auftragsbestandes bei der Erstellung des Produktionsprogramms schließt sich die eben vorgestellte Wirkungskette zu einem Wirkungskreis, der Kausalschleife B_{AB} . Ebenso sollten mögliche „Auslieferungen“ aufgrund vorhandener Lagerbestände bei steigender „Nachfrage nach Menge und Art“ sofort angestoßen werden. Dadurch ist es möglich, einerseits einen guten Servicegrad zu gewährleisten sowie andererseits das Niveau der Kausalschleife B_{AB} und damit die Höhe der Korrekturen des Produktionsprogramms zu reduzieren. Änderungen der angestrebten Lieferzeit haben unmittelbare Auswirkungen auf das Produktionsprogramm.

Eine Folge unterschiedlich hoher Produktionsprogramme und definierter prozessinterner Steuerungsmechanismen sind unterschiedliche durchlaufzeitoptimale Bestände im Produktionsprozess. Die mittleren Auslieferungen und der mittlere Bestand im Produktionsprozess ergeben die Durchlaufzeit, welche aus Liegezeit, Bearbeitungszeit und Rüstzeit besteht. Bei steigendem Bestand erhöht sich die Durchlaufzeit. Zur Gewährleistung einer minimalen Durchlaufzeit ist es notwendig, den Prozessbestand in Abhängigkeit von der aktuellen Höhe des Produktionsprogramms anzupassen. Dieses Vorgehen wird durch die Kausalschleife B_{PB} beschrieben.

Neben der Berücksichtigung der Höhe der Auftragsbestände und der Bestände an Produkten im Produktionsprozess ist bei der Erstellung des Produktionsprogramms das Leistungsvermögen der vorhandenen Produktiveinheiten zu berücksichtigen. Das qualitative und quantitative Leistungsvermögen von Produktiveinheiten soll verstanden werden als ihre Fähigkeit, Güter bestimmter Art in einer bestimmten Menge herzustellen.

Für den Prozess „Verzahnen“ wurde Rationalisierungspotential erkannt. So sollen durch die angestrebte Prozessautomatisierung beispielsweise kürzere Umrüstzeiten und dadurch kleinere Losgrößen und geringere Taktzeiten realisierbar werden. Projekte zur Realisation des Rationalisierungspotentials bei vorhandenen Produktiveinheiten führen zu einer Steigerung des qualitativen und quantitativen Leistungsvermögens vorhandener Produktiveinheiten. Dieser Zusammenhang wird durch die Kausalschleife B_{Rat} beschrieben. Des Weiteren kann durch das Rationalisierungsprojekt der für das Erreichen einer optimalen Durchlaufzeit notwendige Gesamtbestand im Prozess gesenkt werden. Durch das Rationalisierungsprojekt ist man damit in der Lage, das Niveau der Kausalschleife zur Bestandssteuerung zu senken. Bei gleichen Schwankungen der Eingangsgröße „Angestrebte Produktionsmenge und -qualität im Produktionsprogramm“ kann die Kausalschleife schneller durchlaufen werden, weil das „GAP DLZ-optimierender Bestand“ kleiner wird und notwendige Anpassungsprozesse nicht mehr so viel Zeit erfordern.

Als weitere Folge der Steigerung der Volatilität und Höhe der Nachfrage werden mögliche Probleme bei der Anpassung des Personalbestandes innerhalb der betrachteten Kostenstelle IV

gesehen. Allgemein gesprochen ist dies auf einen „Fehlbestand an qualitativem und quantitativem Leistungsvermögen“ zurückzuführen, der sich aus der Differenz zwischen erforderlichem und vorhandenem Leistungsvermögen ergibt und nicht durch Veränderung vorhandener Kapazitäten, zum Beispiel durch Erhöhung der Intensität, gedeckt werden kann. Für den Prozess „Komplettieren“ bestehen die notwendigen Anpassungsmaßnahmen in der Einstellung von Personal. Das Leistungsvermögen vorhandener Kapazitäten wird nach einer Zeitverzögerung um den notwendigen Betrag erhöht. Die Zeitverzögerung ist durch zwei parallele Striche, welche die Linie, die die Kausalbeziehung beschreibt, kreuzen, dargestellt. Der Zusammenhang wird durch die Kausalschleife B_{KAP} beschrieben.

Anpassungsmaßnahmen zur Veränderung des qualitativen und quantitativen Leistungsvermögens führen zu einer Veränderung der Personalkosten, während Änderungen des Bestandes an Werkstücken im Produktionsprozess, auch durch Variation des Sicherheitsbestandes, zu Änderungen der Flächenkosten führen. Zielgrößen, wie Verrechnungspreise, werden im Kausalschleifendiagramm nicht berücksichtigt, da sie nicht in Interaktion mit den Elementen der Problemstellung stehen, sondern dazu dienen, aufgezeigte Wirkungsbeziehungen lediglich zu bewerten.

6.4 Modellierung der Flexibilitätsprobleme

6.4.1 Überblick über das Systemmodell

Zur Darstellung der Flexibilitätsprobleme werden diese in ein Systemmodell überführt, das aus unterschiedlichen Sektoren besteht. In einem Cockpit ist es möglich, einerseits den Flexibilitätsbedarf sowie andererseits die Merkmale des Flexibilitätsangebotes des Prozesses entsprechend der identifizierten Flexibilitätsprobleme zu verändern. Änderungen dieser Parameter führen zu einem geänderten Systemverhalten, welches durch Grafiken ausgewertet werden kann.

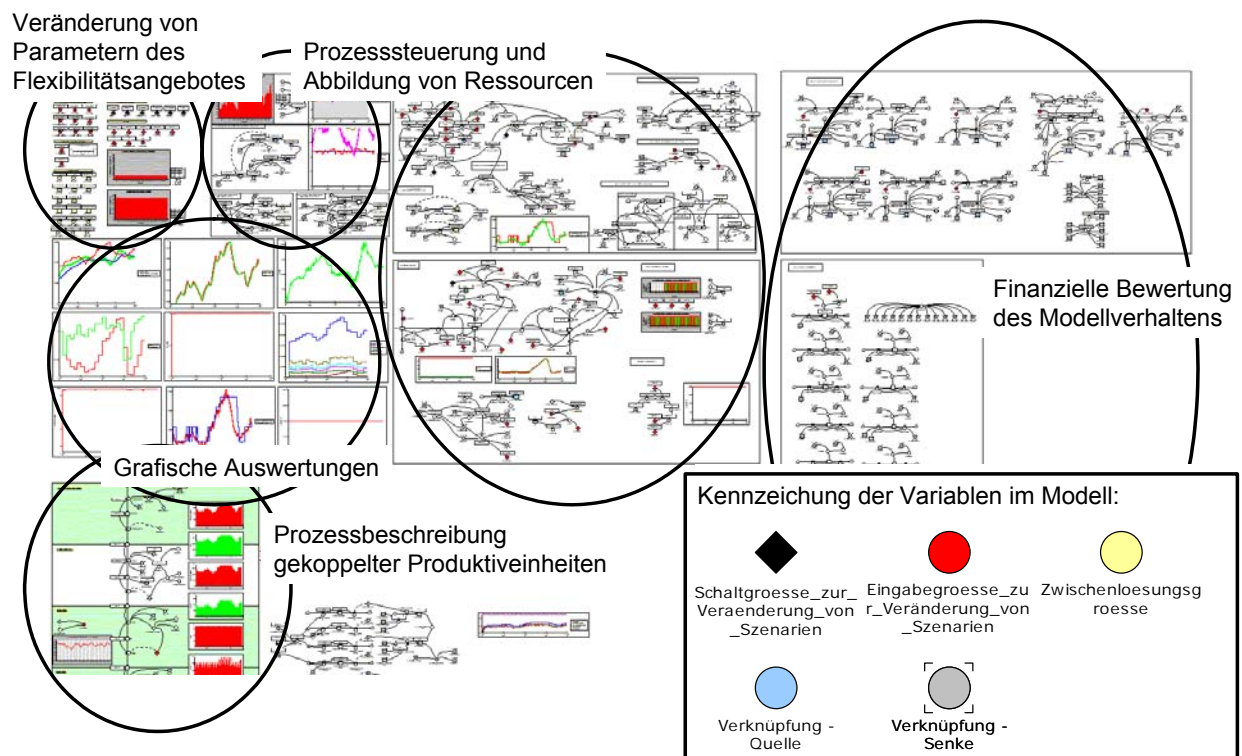


Abbildung 50: Bildschirmausdruck des erstellten Modells⁵⁵⁹

Weitere Modellbestandteile sind die Prozesssteuerung, die Abbildung der zur Durchführung des Transformationsprozesses notwendigen Ressourcen sowie die wirtschaftliche Bewertung des Prozesses. Lediglich Ausschnitte wesentlicher Modellbestandteile zur Beschreibung der identifizierten Flexibilitätsprobleme werden im Folgenden vorgestellt. Die farbliche Kennzeichnung der Variablen soll das Verständnis des erstellten Simulationsmodells erleichtern.

⁵⁵⁹ Eigene Darstellung. Vg. Modelldokumentation in Anhang XYZ.

6.4.2 Steuerung des Produktionssystems

Im Rahmen der Formulierung von Flexibilitätsproblemen wurde festgestellt, dass sinkenden Lieferzeiten externer Wettbewerber und der Forderung nach hoher Termintreue bei hohem Servicegrad ein Produktionsprozess gegenübersteht, für den aufgrund der bisher auf geringem Niveau schwankenden Nachfrage keine Planung des Produktionsprogramms vorgenommen wurde. Die nachgefragte Menge wurde unverzüglich für die Produktion freigegeben und nach Durchlaufen des Produktionsprozesses ausgeliefert. Es wurde festgestellt, dass die Integration einer Steuerung des Produktionsprozesses mit dem Aufbau neuer Handlungsspielräume verbunden ist. Der Mitarbeiter hat aufgrund gegebener Restriktionen keine Möglichkeit innerhalb des Prozesses eine alternative Steuerung aufzubauen. Die Steuerung des Produktionsprozesses entsprechend des Push-Prinzips wurde auf der Ebene der Produktiveinheiten diskret modelliert. Der Mitarbeiter ist jedoch in der Lage, das Produktionsprogramm aufgrund des erwarteten Absatzes zu planen. Folgend wird das kontinuierliche Partialmodell abgebildet, welches die Steuerung des Produktionsprozesses unter Berücksichtigung von Abweichungen des Auftragsbestandes und des Bestandes an Werkstücken im Prozess abbildet.

Zunächst wird die prognostizierte arbeitstägliche Nachfrage „arbt_Nf“ mittels einer einfachen exponentiellen Glättung mit Verzögerungszeiten von einer und vier Wochen geglättet. Damit wird die aufgrund des laufenden Berichtswesens erfolgende wöchentliche und monatliche Anpassung der Erwartung bezüglich der Höhe der zukünftigen Nachfrage abgebildet. Der Mittelwert der ermittelten Erwartungswerte „arbt_Nf_woech_mon_glaet“ ist Ausgangspunkt für die Steuerung des Produktionsprozesses. Zunächst soll das in Abbildung 51 dargestellte Partialmodell beschrieben werden, welches sicherstellt, dass Abweichungen des Auftragsbestandes vom geplanten Auftragsbestand berücksichtigt werden. Damit wird das Ziel verfolgt, die angestrebte Lieferzeit einhalten zu können. Das Produkt aus angestrebter Lieferzeit „angestr_LZ“ und dem zukünftigen Produktnachfrage „arbt_Nf_woech_mon_glaet“ ergibt den anzustrebenden Auftragsbestand „anstreb_AB“, bei dem die angestrebte Lieferzeit eingehalten werden kann.

Die tagesaktuelle Differenz zwischen dem angestrebten Auftragsbestand und dem aktuellen Auftragsbestand „AB“ ergibt die aktuelle Auftragsbestandsdifferenz „akt_ABdiff“. Diese Größe ist Quelle für eine weitere Verwendung bei Bestimmung der Höhe der auszuliefernden Produkte an die Montage. So wird bei einem drohenden Anstieg der Lieferzeit zunächst täglich geprüft, ob die Produkte für die eingegangenen Aufträge eventuell im letzten Zwischenlager vor der Montage vorrätig sind und ausgeliefert werden können.

unterschiedlichen Auslastungsstufen beziehungsweise einem Produktionsprogramm unterschiedlicher Höhe mit Anfangsbeständen in Höhe von Null gefahren, bis sich ein Gleichgewicht einstellt.⁵⁶¹ Die den Produktiveinheiten zugeordneten Ressourcen sind bei Simulationsbeginn in maximaler Höhe verfügbar und werden im Simulationslauf durch die vorgesehenen Regelungsmechanismen⁵⁶² reduziert. Damit erfolgt eine Anpassung an die Plan-Durchlaufzeiten der einzelnen Produktiveinheiten. Dieses Gleichgewicht beschreibt den funktionsfähigen Prozess mit minimaler Durchlaufzeit und der dazu notwendigen optimalen Bestandshöhe im Prozess. Abbildung 52 beschreibt die entsprechende Kennlinie für den betrachteten Prozess bei unterschiedlicher Auslastung. Für eine grundlegend andere Auslegung des Produktionsprozesses mit abweichenden Leistungsparametern, die von standardisierten Anpassungsmechanismen, wie der Kapazitätsanpassung, unabhängig sind, ergeben sich abweichende Werte. Aus diesem Grund erfolgt die Ermittlung ebenso für einen Produktionsprozess nach Durchführung des Rationalisierungsprojektes.

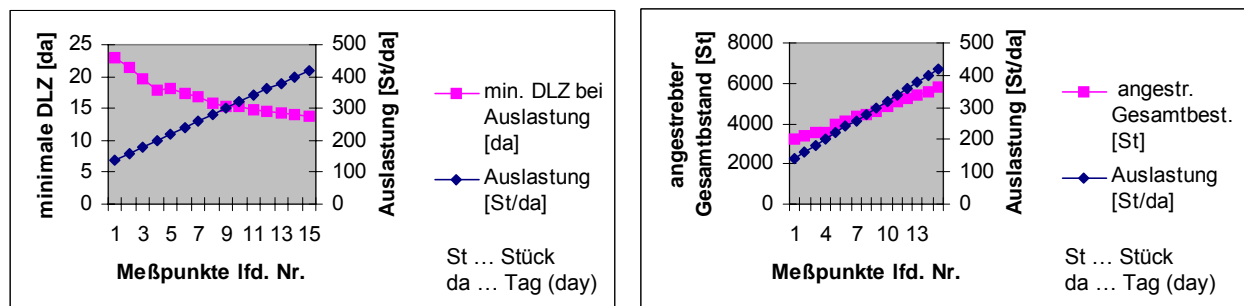


Abbildung 52: Empirische Daten zur Berücksichtigung des Bestandes im Produktionsprozess⁵⁶³

Eine auf diese Weise vorgenommene Leistungsanalyse des Prozesses bringt das Ergebnis, dass der Prozess mit zunehmender Auslastung eine mit abnehmenden Zuwachsraten fallende Durchlaufzeit besitzt. Der dazu notwendige Bestand steigt mit zunehmender Auslastung an. Die Ursache für diesen Verlauf sind Mindestmengen, die für bestimmte Bearbeitungs- und Transportvorgänge im Prozess vorgesehen sind. So werden die zeitintensiven LKW-Transporte beispielsweise erst bei Vorliegen einer Mindestmenge an Produkten angestoßen.⁵⁶⁴

Die empirisch ermittelten Daten für die anzustrebenden Gesamtbestände und Durchlaufzeiten bei unterschiedlichen Prozessbelastungen werden genutzt, um die Zuordnungsfunktionen für eine Berücksichtigung der Bestände in der Prozesssteuerung beschreiben zu können, wie Abbildung 53 zeigt. Zunächst wird mit der Variable „akt_Nf_niv“ die geglättete Nachfrage als prozentualer Wert im Verhältnis zur maximalen Nachfrage „max_arbt_Nf“ angegeben.

Der für die jeweilige damit definierte Prozessbelastung durchlaufzeitoptimale Bestand und die resultierende Durchlaufzeit werden in Zuordnungsfunktionen definiert. Beispielsweise beinhaltet die Variable „ZF_Nf_Gesbest“ eine Zuordnungsfunktion, welche den für die jeweilige Prozessbelastung notwendigen Gesamtbestand „angestr_Gesbest“ definiert, um eine minimale

⁵⁶¹ Die für die Bestandssteuerung des vorliegenden Prozesses ermittelten Daten finden sich in Anhang 3.

⁵⁶² Vgl. die Beschreibung der Umsetzung der Personalanpassung.

⁵⁶³ Eigene Darstellung. Vgl. Modelldokumentation in Anhang XYZ.

⁵⁶⁴ Auf gleiche Weise verursachen hohe Losgrößen den vorgestellten Kennlinienverlauf, wie eine Gegenüberstellung bei unterschiedlichen Losgrößen zeigt. [Vgl. Anhang 4.]

Durchlaufzeit zu erreichen. Der maximal notwendige Bestand an Produkten im Gesamtprozess „max_angestr_Gesbest“ wird definiert, um die Zuordnungsfunktion zu normieren. Die Variable „ZF_Nf_Gesbest_Rat“ beschreibt eine Zuordnungsfunktion bei aktiviertem Rationalisierungsprojekt.

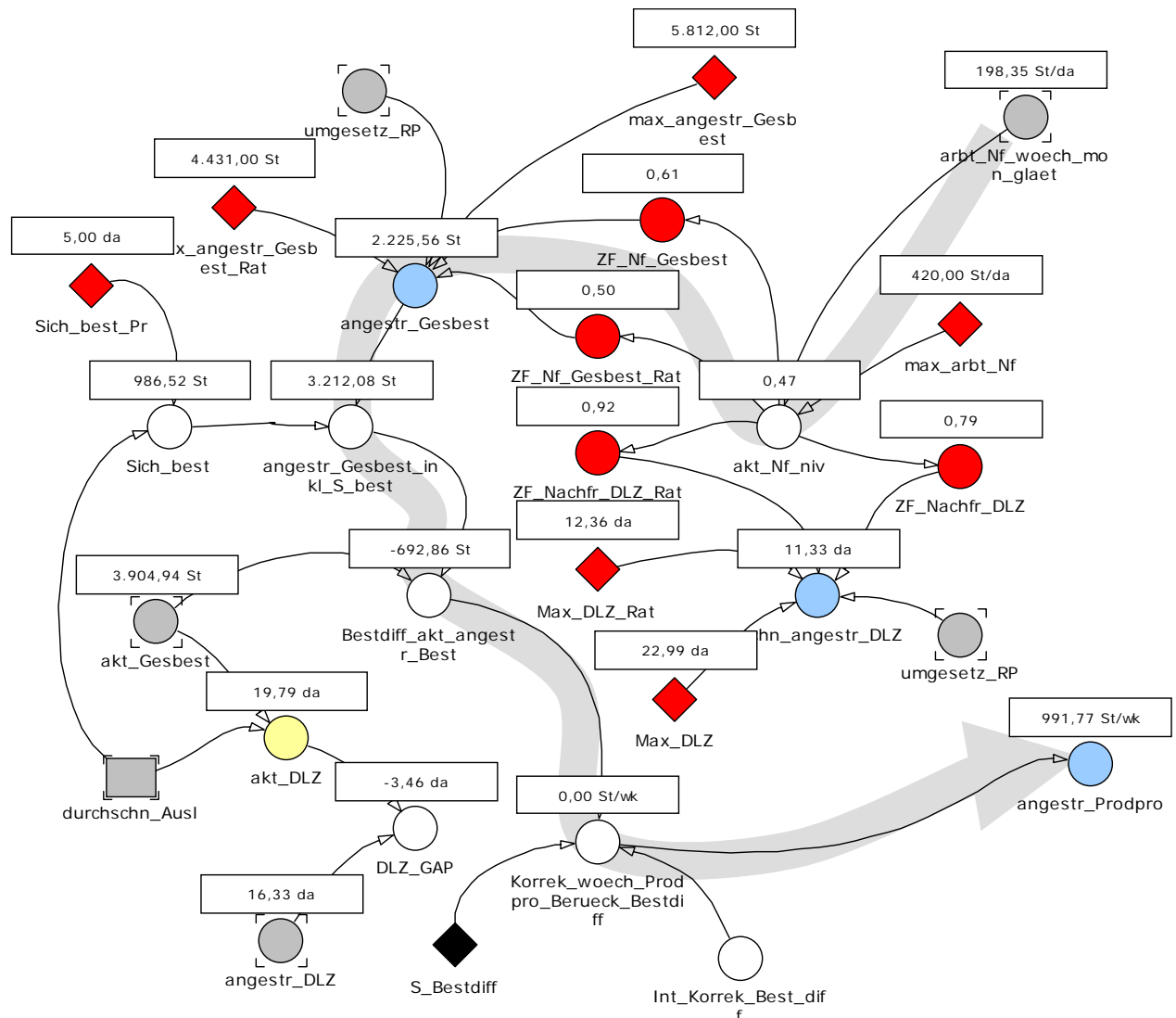


Abbildung 53: Partialmodell der Produktionssteuerung zur Berücksichtigung des Bestandes im Prozess⁵⁶⁵

Der Sicherheitsbestand „Sich_best“ ist variabler Eingangsparameter und kann als Vielfaches der durchschnittlichen Auslieferungen definiert werden. Die Summe aus angestrebtem Gesamtbestand und Sicherheitsbestand „angestr_Gesbest_inkl_S_best“ wird dem aktuellen Gesamtbestand „akt_Gesbest“ gegenübergestellt und ergibt die Bestandsdifferenz „Bestdiff_akt_angestr_Best“ zum durchlaufzeitoptimalen Bestand. Mit dem Intervall „Int_Korrekt_Best_diff“ wird definiert in welchen Zeitabständen eine Inventur des Gesamtbestandes durchgeführt und der Korrekturfaktor „Korrekt_woech_Prodpro_Berueck_Bestdiff“ im angestrebten Produktionsprogramm „angestr_Prodpro“ berücksichtigt wird.

⁵⁶⁵ Eigene Darstellung. Vgl. Modelldokumentation in Anhang XYZ.

6.4.3 Anpassung von Personalkapazität

Das in Abbildung 54 dargestellte Partialmodell zur Abbildung der Änderung der Personalstruktur folgt in seinem Aufbau einer aging-chain, wie sie für demografische Untersuchungen Verwendung findet.⁵⁶⁶ In den drei Beständen „AZUBIS“ für Auszubildende, „FA“ für Festangestellte und „ZA“ für Zeitarbeiter werden die unterschiedlichen Mitarbeitergruppen des Unternehmens modelliert. Für das vorliegende Beispiel ist lediglich die Entwicklung von Festangestellten und von Zeitarbeitern von Interesse. Die Auszubildenden werden ebenfalls abgebildet, weil eine Übernahme von Auszubildenden als Festangestellte durchgeführt wird. Deren Höhe wird durch die Flussgröße „UeA_Azubi“ beschrieben, die sich horizontal zwischen den Beständen befindet. Ebenso wird ein gewisser Anteil an Zeitarbeitern in Festanstellung übernommen. Den Übernahmeanteil beschreibt die sich ebenfalls horizontal zwischen den Beständen befindende Flussgröße „UeA_Z“. Neben den internen Verschiebungen werden Einstellungen und Entlassungen von Mitarbeitern modelliert. Beispielsweise ergibt sich die natürliche Entlassungsquote von Zeitarbeitern „Abg_ZA_VZ“ als Quotient aus dem vorhandenen Personalstamm an Zeitarbeitern „ZA“ und der durchschnittlichen Arbeitszeit „AZ_U_ZA“ von Zeitarbeitern im Unternehmen. Die natürliche Entlassungsquote und der Übernahmeanteil bestimmen über die Einstellungsquote aufgrund interner Personalverschiebungen „B_ZA_U“ die eigentliche Einstellungsquote „ER_ZA“. Die Einstellungsquote ist darüber hinaus abhängig vom Bedarf an Zeitarbeitern „taegl_Bed_ZA“, der über die Variable „Diff_ZA“ aus dem Unternehmen kommuniziert wird. Notwendige Zeiten zur Einstellung der Zeitarbeiter werden dabei durch die Variable „ER_ZA_akt_Bed“ ebenso berücksichtigt wie Kündigungszeiten durch die Variable „Abg_ZA_Kuend“.

Die aktuelle Anzahl an Zeitarbeitern kann mit der Anzahl der Mitarbeiter im Prozess Kompletieren gleichgesetzt werden, weil die Zeitarbeiter ausschließlich für den Prozess Kompletieren eingesetzt werden und der Prozess Kompletieren ausschließlich mit Zeitarbeitern besetzt wird. Wenn das mit der Trendfunktion ermittelte prognostizierte angestrebte Produktionsprogramm „Progn_Prodpro_taegl“ höher ist als die produzierbare Menge des Prozesses Kompletieren bei Besetzung mit dem geringsten beplanten Personalbedarf „ger_Persbed_prod_Men_K“, dann wird eine Personalanpassung auf ein neues Personalniveau notwendig. Dessen Höhe ergibt sich aus der Summe von vorhandenem Personalbestand „ZA_run“ und dem Personaländerungsbedarf „Persaend_bed_k“. In dem Fall, dass ein Bedarf vorliegt, der geringer ist, als die geringste geplante Auslastung, wird eine definierte Mindestanzahl von Mitarbeitern „Min_Bes_K“ als Mitarbeiterbedarf kommuniziert.

⁵⁶⁶ Vgl. Sterman (2000).

Die Übermittlung des Bedarfs an Festangestellten erfolgt durch die Variable „angestr_Anz_FA_eig_Pr“. In Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Freigabe des Rationalisierungsprojektes „ZP_Schulbeg_RP“ wird ein Mitarbeiterbedarf von „Anz_FA_RP“ wirksam, der das vorhandene Personal in Höhe von „Init_Anz_FA_eig_Pr“ übersteigt. Der Zeitpunkt zur Entlassung des Schulungspersonals „ZP_Freis_Schulpers“ ist von der Dauer des Rationalisierungsprojektes „Dauer_RP“, dem Einstellungszeitraum „EZ_FA“ und dem Kündigungszeitraum „KZ_FA“ abhängig. Das Schulungspersonal wird zu den Kosten festangestellter Mitarbeiter auf dem freien Markt eingekauft. Weil für die Simulationsergebnisse die entstehenden Kosten relevant sind, werden die temporären Mitarbeiter im Modell wie festangestellte Mitarbeiter abgebildet. Der Zeitpunkt des Beginns des Rationalisierungsprojektes ZP_Schulbeg_RP ist von der Verfügbarkeit des Schulungspersonals auf dem Markt abhängig.

6.4.4 Prozessverbesserung durch Rationalisierungsprojekt

Mit dem Zeitpunkt des Schulungsbeginns setzen die Maßnahmen ein, die im Rahmen des Rationalisierungsprojektes angestoßen werden, um den Prozess „Verzahren“ auf neue Varianten auszulegen und seine Leistungsfähigkeit zu erhöhen. Im rechten Teil der Abbildung 55 werden die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Losgröße des Prozesses Verzahren „akt_LG_V“ dargestellt. Es wird angenommen, dass einerseits die Losgröße durch die realisierten Maßnahmen auf ein Viertel des ursprünglichen Wertes gesenkt werden kann und dass andererseits in dem gleichen Maß das Vermögen der Produktiveinheit zunimmt, andere Varianten zu fertigen.

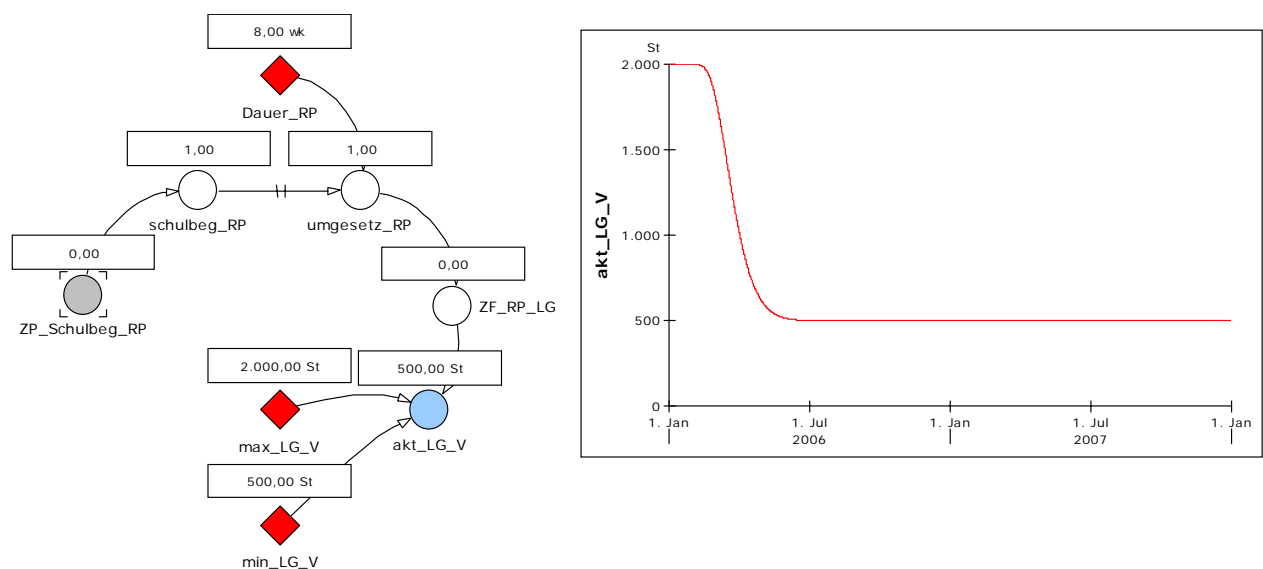


Abbildung 55: Partialmodell zur Abbildung des Rationalisierungsprojektes

Horizontal gespiegelt lässt sich die Anlaufkurve erkennen, welche beschreibt, in welchem Maß die Leistung des modernisierten Prozesses „Verzahnen“ im Zeitverlauf gesteigert wird. Die Anlaufkurve erwächst aus Lernprozessen der Mitarbeiter mit der modernisierten Anlage und wurde unternehmensindividuellen Gegebenheiten in der Form angepasst. Es wurde ein Anstieg gewählt, der aus ähnlichen Rationalisierungsprojekten bekannt ist. Dieser wird im Modell durch ein Information-Delay sechster Ordnung beschrieben. Die aktuelle Losgröße des Prozesses wird durch die in der Variablen „ZF_RP_LG“ beschriebenen Zuordnungsfunktion ermittelt.

6.5 Bewertung der Simulationsergebnisse

6.5.1 Überblick über die Simulationsergebnisse

Ausgehend von den hypothetischen Flexibilitätsproblemen wird am erstellten Modell geprüft, ob die prognostizierten Verhaltensweisen durch das Modellverhalten bestätigt werden. Grundlage für Simulationsläufe zu den identifizierten möglichen Flexibilitätsproblemen ist ein Referenzszenario, welches sich aus einer Initialisierung des Modells für eine gegebene Systembelastung ergibt.⁵⁶⁸ Die Simulationsergebnisse werden nicht als exaktes Kalkül genutzt. Vielmehr wird die Sensitivität des Systemverhaltens auf Parameteränderungen überprüft. Eine auf diese Art vorgenommene Prozessanalyse ermöglicht die Bestätigung oder Widerlegung hypothetischer Flexibilitätsprobleme.

Ein Überblick über die Simulationsergebnisse in Beziehung zu den diesen zu Grunde liegenden Flexibilitätsproblemen und den Möglichkeiten der Gestaltung des Flexibilitätsangebotes findet sich in Tabelle 13.

⁵⁶⁸ Im vorliegenden Beispiel wurde die historisch durchschnittliche Systembelastung von 200 Stück je Arbeitstag gewählt und im Systemmodell wurden die Bestände entsprechend angepasst. Die Dokumentation der dazu notwendigen strukturierten Vorgehensweise findet sich in Anhang 1.

Tabelle 13: Zuordnung der Ergebnisse der Simulationsläufe zu den hypothetischen Flexibilitätsproblemen

	Flexibilitätsproblem I Stichwort Personalbereitstellung	Flexibilitätsproblem II Stichwort Produktionssteuerung	Flexibilitätsproblem III Stichwort Prozessveränderungen	Flexibilitätsproblem IV Stichwort Rationalisierungspotential
Ursprung des Flexibilitätsbedarfs	Nachfrageänderung - Steigerung der Volatilität und Höhe der Nachfrage (extern)	kurze Lieferzeiten und hohe Termintreue externer Wettbewerber (extern)	mittelfristig Nachfrage nach neuen Varianten (extern)	im Rahmen des KVP erkannt Rationalisierungspotential - aufgrund vorhandener Engpässe (intern)
prognostiziertes Systemverhalten	in kurzer Zeit stark schwankender Personalbedarf kann nicht bedient werden, so dass sich Servicegrad und weitere Parameter verschlechtern	schlechte Servicegrade, geringe Verrechnungspreise und Überschreiten der Lieferzeiten, die durch die Konkurrenz vorgegeben werden, bei hohen Sicherheitsbeständen hohe Flächenverrechnungssätze	Nachfrage nach bestimmter neuer Variante kann nicht befriedigt werden	auf Nachfrageänderungen kann nicht schnell genug reagiert werden, weil die Durchlaufzeit zu hoch ist, Servicegrad und weitere Parameter verschlechtern sich
Flexibilitätsangebot: Handlungsspielraum	Einsatz von Zeitarbeitern, Definition eigener Lieferzeitvorgaben	Sicherheitsbestanderhöhung, Berücksichtigung vorhandener Aufträge sowie von Bestandsdifferenzen bei der Erstellung des Produktionsprogrammes, alternative Steuerung innerhalb des Prozesses nicht möglich	Einstellung von Facharbeitern für ein Rationalisierungsprojekt zur Erhöhung der Anzahl bearbeitbarer Varianten	Einstellung von Schulungspersonal für ein Rationalisierungsprojekt zur Reduzierung von Rüstzeiten
Flexibilitätsangebot: Handlungszeit	Zeitraum bis zur Meldung des Personalbedarfes, Einstellungszeit	unmittelbare Umsetzung möglich	Zeiten für Personalbereitstellung (Einstellungszeit), Zeit zur Durchführung der Maßnahmen (Projektdauer), Umsetzungseffizienz in der Linie (Anlaufkurve)	Zeiten für Personalbereitstellung (Einstellungszeit), Zeit zur Durchführung der Schulungsmaßnahmen (Schulungsdauer), Umsetzungseffizienz in der Linie (Anlaufkurve)
Flexibilitätsangebot: Flexibilitätskosten	Kosten für Zeitarbeiter	Änderung der Steuerung ohne EDV-Unterstützung ohne Kosten; bei Erhöhung des Sicherheitsbestandes: Erhöhung der Flächenverrechnungssätze	Änderung der Steuerung ohne EDV-Unterstützung ohne Kosten; Kosten für Personal des Rationalisierungsprojektes	Kosten für Personal des Rationalisierungsprojektes
Ergebnisse der Simulationsläufe	Längere Einstellungszeiten der Zeitarbeiter haben eine starke Auswirkung auf Lieferzeit und Servicegrad. Bei stark sinkenden Lieferzeitvorgaben und langen Einstellungszeiten, wird der Prozess so unwirtschaftlich, dass er auszulagern ist.	Eine Korrektur von Auftragsbestandsdifferenzen und Bestandsdifferenzen ist vorzunehmen. Trotz erhöhter Flächenverrechnungspreise, ist das Aufrechterhalten von Sicherheitsbeständen notwendig, um Lieferfähigkeit sicherzustellen. Erhöhte Flächenverrechnungspreise wirken sich nicht so negativ auf das Ergebnis aus, wie schlechte Servicegrade oder das Überschreiten der Lieferfristen.	Die Kosten für Personal zur Durchführung des Rationalisierungsprojektes sind geringer als die positiven Auswirkungen des Projektes.	

aktuell
zukünftig

Die Ergebnisse der Simulationsläufe bieten Entscheidungsunterstützung bei der Ableitung von Flexibilitätsgestaltungsmaßnahmen. Beispielsweise bieten die Simulationsläufe für den abgebildeten Prozess die Erkenntnis, dass aus dem Vorhalten von Sicherheitsbeständen resultierende erhöhte Flächenverrechnungskosten ungleich geringer ausfallen als mögliche Verluste, die einer Lieferzeitüberschreitung oder einem geringen Servicegrad zuzurechnen sind. Aus dieser Erkenntnis könnte beispielsweise die Flexibilitätsgestaltungsmaßnahme abgeleitet werden, den Akteuren freien Spielraum bei der Definition der von ihnen angestrebten Sicherheitsbestände zu gewähren.

Das erstellte Systemmodell erlaubt die freie Definition der Eigenschaften des Flexibilitätangebotes. Merkmale des Flexibilitätangebotes, die zur Überprüfung der Hypothesen variiert wurden, sind in Tabelle 13 fett dargestellt. Die zur Modellierung der unterschiedlichen Szenarien definierten Parameter finden sich in Anhang 2. Im Folgenden wird die Ableitung der Simulationsergebnisse aus den Simulationsläufen exemplarisch vorgestellt. Vor der Auswertung der Ergebnisse bei Eintreffen des unterstellten, zukünftigen Nachfrageverlaufes sollen jeweils die Funktionsmechanismen durch Eingabe einer Testfunktion evaluiert werden. Die Testfunktion sieht einen plötzlichen Nachfrageanstieg von 200 [Stück/Tag] auf 280 [Stück/Tag] nach 8 Monaten vor. Alle Simulationsszenarien basieren auf einem Referenzszenario, welches eine konstante Nachfrage von 200 Stück je Tag vorsieht. Das System befindet sich innerhalb des Referenzszenarios in einem eingeschwungenen Zustand.

Der unterstellte zukünftige Nachfrageverlauf schwankt über zwei Jahre sehr stark zwischen ungefähr 180 [Stück/Tag] und 400 [Stück/Tag]. Den historischen typischen Nachfrageverlauf beschreibt eine leicht schwankende Nachfragefunktion um 200 [Stück/Tag].⁵⁶⁹

6.5.2 Produktionssteuerung und Sicherheitsbestände

Als Schwerpunkt möglicher Flexibilitätsprobleme wurde vermutet, dass sich steigende Höhe und Volatilität der Nachfrage negativ auf Lieferzeit und Servicegrad gegenüber der abnehmenden Kostenstelle auswirken.⁵⁷⁰ Beim Aufstellen von Hypothesen über Flexibilitätsprobleme wurde definiert, dass dies darauf zurückzuführen ist, dass die zukünftig zu erwartenden Schwankungen ohne eine Produktionssteuerung nicht zu bewältigen sind. Es wird die Mindestforderung gestellt, Lieferzeiten und Servicegrade von Drittanbietern gewährleisten zu können. Dies soll durch Integration einer Produktionssteuerung erreicht werden, welche Änderungen der Auftragsmengen sowie vorhandene Bestände im Prozess berücksichtigt.

Die Validierung des Simulationsmodells erfolgte im Rahmen der Modellerstellung durch Eingabe von Testfunktionen, wie zum Beispiel einer sprunghaften Nachfrageerhöhung. Diese Testfunktionen wurden zur Erklärung des Modellverhaltens in die Partialmodelle gegeben, um die Validität der Ergebnisse zu überprüfen. Im Folgenden soll zur Erklärung des Modellverhaltens bei Aktivierung der Auftrags- und Bestandssteuerung die Reaktion auf eine sprunghafte Nachfrageerhöhung vorgestellt werden.

⁵⁶⁹ Vgl. zum Verlauf der Nachfragefunktionen Anhang 5.

⁵⁷⁰ Vgl. Kapitel 6.3 Hypothese II.

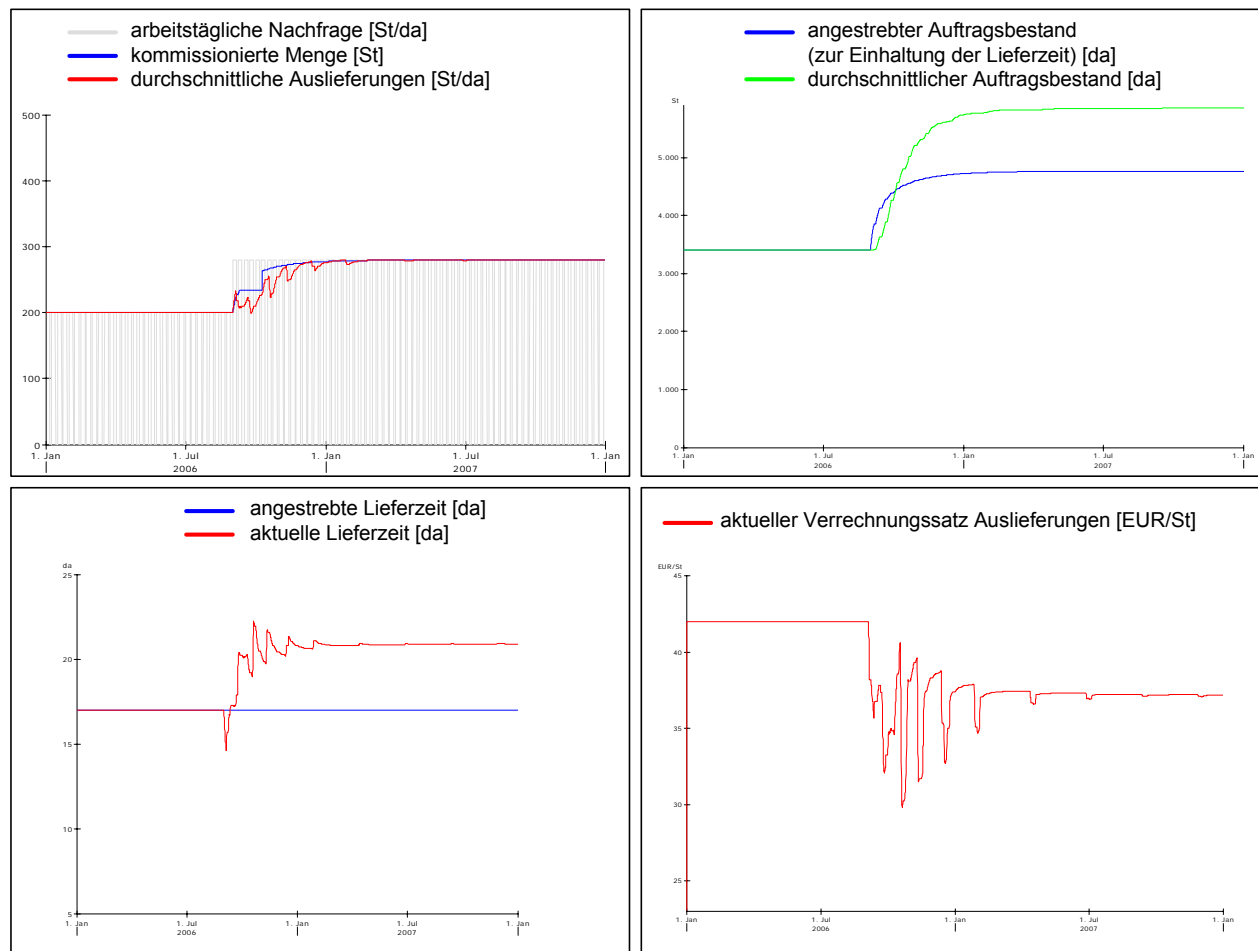


Abbildung 56: Auswirkungen eines Nachfrageanstiegs ohne Berücksichtigung von Beständen⁵⁷¹

Abbildung 56 zeigt die Reaktion von Kenngrößen des betrachteten Produktionsprozesses auf einen sprunghaften Nachfrageanstieg. Bei der Steuerung des Produktionsprozesses werden die Auftragsbestände sowie die Bestände an Halbfertigprodukten im Prozess nicht berücksichtigt. Die Anpassung des Produktionsprogramms an den Nachfrageanstieg zeigt sich in einem zeitlich versetzten Anstieg der kommissionierten Menge. Der Zeitversatz resultiert einerseits aus der verzögerten Anpassung des Produktionsprogramms aufgrund der zuerst erfolgenden Erwartungsbildung⁵⁷² und andererseits aus dem notwendigen Aufbau von Personalkapazitäten im Prozess Komplettieren⁵⁷³. Die Auslieferungen nähern sich erst über lange Zeit dem neuen Nachfrageniveau an. Der Auftragsbestand und damit die Lieferzeit steigen in der Höhe der Fläche, welche durch die Linie Auslieferungen und den Nachfrageanstieg begrenzt wird, an. Dies führt zu einer steigenden Lieferzeit. Der Anstieg der Lieferzeit führt zu einem Absinken des Verrechnungssatzes auf ein niedrigeres Niveau.

Eine sinkende Nachfrage führt zu einer plötzlichen Absenkung von kommissionierter Menge und Auslieferungsmenge.⁵⁷⁴ Der Bestand an Werkstücken im Produktionsprozess bleibt auf höherem Niveau stehen und führt zu längeren Lieferzeiten. Eine Überprüfung des Bestandes an

⁵⁷¹ Eigene Darstellung aus den Simulationsergebnissen des Szenario 1. [Vgl. Anhang 2]

⁵⁷² Vgl. zur Erwartungsbildung Kapitel 6.4.2.

⁵⁷³ Vgl. zum notwendigen Personalaufbau die Prozessbeschreibung unter Kapitel 6.1.

⁵⁷⁴ Vgl. dazu die Ergebnisse des Szenario 4 in Anhang 2.

Werkstücken im Produktionsprozess und die Berücksichtigung dieser Werte durch Bildung eines Korrekturfaktors für die Produktionsprogrammplanung müssen aus diesem Grund neben der Berücksichtigung der Auftragsbestandsdifferenzen elementarer Bestandteil der Produktionssteuerung sein. Die Ergebnisse eines Simulationslaufes unter Berücksichtigung dieser Faktoren zeigt Abbildung 57.

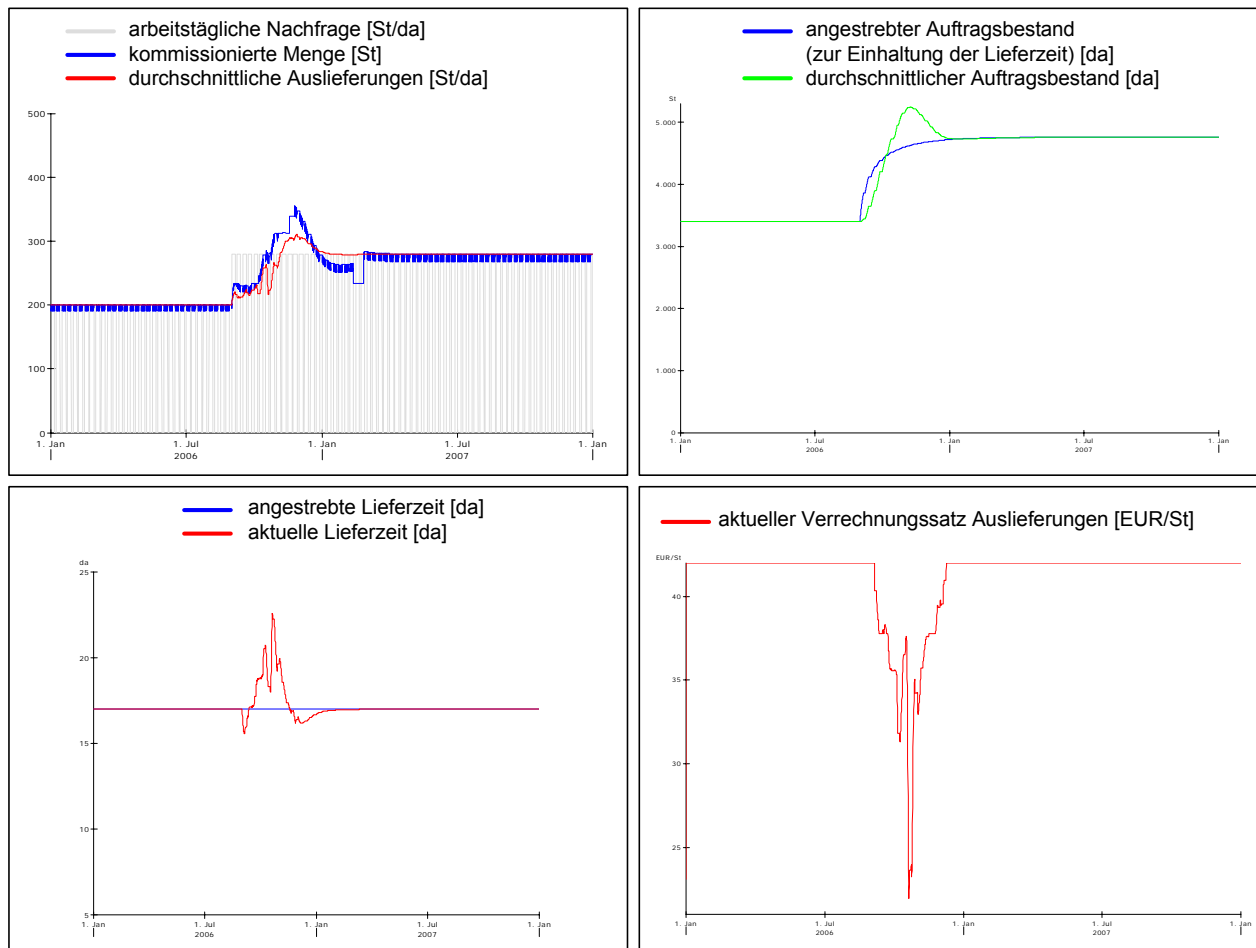


Abbildung 57: Auswirkungen eines Nachfrageanstiegs mit Berücksichtigung von Beständen⁵⁷⁵

Das Produktionsprogramm und damit die kommissionierte Menge werden um die für die Abarbeitung aller Aufträge notwendige Stückzahl erhöht. Der entstehende Auftragsbestand kann damit schnell abgearbeitet werden. Durch die Korrektur des Auftragsbestandes ist es möglich, die angestrebte Lieferzeit zu erreichen. Die Verrechnungspreise gegenüber der abnehmenden Kostenstelle erreichen wieder ihr altes Niveau. Voraussetzung dafür ist die im Beispiel mögliche Anpassung von Personal- und Betriebsmittelkapazitäten auf das neue Nachfrageniveau, die praktisch nicht immer gegeben sein muss.

⁵⁷⁵ Eigene Darstellung aus den Simulationsergebnissen des Szenario 2. [Vgl. Anhang 2]

Tabelle 14: Simulationsergebnisse bei unterschiedlicher Bestandsberücksichtigung und Sicherheitsbestandshöhe⁵⁷⁶

Abbildungsziel	Saldo in Euro	BW_Zeit- arbeiter in Euro	BW_Fläche in Euro	BW_FA in Euro	BW_Ausl in Euro	Barwert_ Mat_Eink in Euro	Barwert_I in Euro	Barwert_II in Euro	Barwert_III in Euro	SG in %	neg. proz. Abwei- chung LZ
Nachfragesprung ohne Bestandsberücksichtigung	-200.030	203.855	13.645	77.513	4.254.287	879.715	549.441	1.095.315	1.634.832	98,19	-13,00%
Nachfragesprung mit Bestandsberücksichtigung	35.183	212.308	13.939	77.513	4.535.186	888.738	555.076	1.102.633	1.649.794	97,01	-1,00%
Nachfragesprung mit Bestandsberücksichtigung und Sicherheitsbestand	94.302	197.345	14.717	77.513	4.616.223	895.201	559.118	1.114.294	1.663.733	99,68	0,00%

Legende: Saldo

BW_Zeit-
arbeiter

BW_Fläche

BW_FA

BW_Ausl

Barwert_Mat_Eink

Barwert_I

Barwert_II

Barwert_III

SG

neg. proz. Abweichung LZ

Kostenstellensaldo der Kostenstelle IV

Barwert der Personalausgaben für Zeitarbeiter (Prozess Komplettieren)

Barwert des monatlich zu zahlenden Flächenverrechnungssatzes

Barwert der Personalausgaben für festangestellte Mitarbeiter

Barwert der Gutschrift für Auslieferungen an die nachgelagerte Kostenstelle

Barwert der Belastung der Kostenstelle durch Materialeinkauf

Barwert der Belastung der Kostenstelle IV durch Kostenstelle I

Barwert der Belastung der Kostenstelle IV durch Kostenstelle II

Barwert der Belastung der Kostenstelle IV durch Kostenstelle III

Servicegrad als Quotient aus Anzahl der Auslieferungen an

Anzahl der Auslieferungen nach Produktionsprogramm

negative prozentuale Abweichung der Lieferzeit im Untersuchungszeitraum als Quotient aus tatsächlicher und beabsichtigter Lieferzeit

In Tabelle 14 werden Simulationsergebnisse mit und ohne Berücksichtigung von Auftragsbeständen und Beständen im Prozess gegenübergestellt. Das Kostenstellensaldo verbessert sich bei Berücksichtigung der Bestände deutlich. Dies ist einerseits auf die gestiegene Anzahl ausgelieferter Produkte und andererseits auf die höheren Verrechnungssätze gegenüber der abnehmenden Kostenstelle zurückzuführen. Die Anzahl ausgelieferter Produkte steigt durch die zeitnahe Bearbeitung eingehender Aufträge mit dem Bestreben des Einhaltens der Lieferzeit. Durch Einhalten der Lieferzeit kann langfristig ein hoher Verrechnungssatz gegenüber der abnehmenden Kostenstelle sichergestellt werden.

Sicherheitsbestände unterstützen die Sicherstellung einer hohen Lieferbereitschaft und damit eines hohen Servicegrades. Tabelle 14 zeigt als drittes Szenario die Ergebnisse eines Simulationslaufes bei einer Erhöhung des Sicherheitsbestandes auf drei Tage. Die Verbesserung des Kostenstellensaldos ist hauptsächlich auf die Verbesserung des Servicegrades und das strikte Einhalten der Lieferzeit zurückzuführen. Weiterhin führt der erhöhte Sicherheitsbestand im Beispiel zu einer geringeren Personalkostenbelastung, da auf den Nachfrageanstieg nicht so stark reagiert wird. Die positiven Effekte übertreffen die geringe Erhöhung der Kosten für genutzte Flächen sowie die mit dem Materialeinkauf indirekt berücksichtigten Kapitalbindungskosten um ein Vielfaches.⁵⁷⁷

6.5.3 Personalanpassung

Der Prozess Komplettieren im Fallbeispiel ist eine weitestgehend manuell durchgeführte Tätigkeit. Sie ist stark personalabhängig. Marginale Taktzeiterhöhungen erfordern starke Personalanpassungen. Als weiterer Flexibilitätsproblembereich wurde die Notwendigkeit der Anpassung des Bestandes an Zeitarbeitern an den notwendigen Bestand definiert, weil vermutet wird, dass sich Einstellungszeiten ändern können. Im Folgenden werden die Auswirkungen einer verlängerten Einstellungszeit diskutiert. Gegenübergestellt wird dazu in Abbildung 58 im oberen Teil ein Systemverhalten bei einer Einstellungszeit von zwei Wochen und im unteren Teil bei

⁵⁷⁶ Eigene Darstellung aus den Simulationsergebnissen der Szenarien 1, 2, 3. [Vgl. Anhang 2]

⁵⁷⁷ Die Ergebnisse der Simulationsläufe bei prognostiziertem Nachfrageverlauf bestätigen die Ergebnisse. Vgl. Szenarien 9 und 10.

einer Einstellungszeit von vier Wochen. Grundlage der dargestellten Szenarien ist erneut ein plötzlicher Nachfrageanstieg von 200 [Stück/Tag] auf 280 [Stück/Tag] nach 8 Monaten.

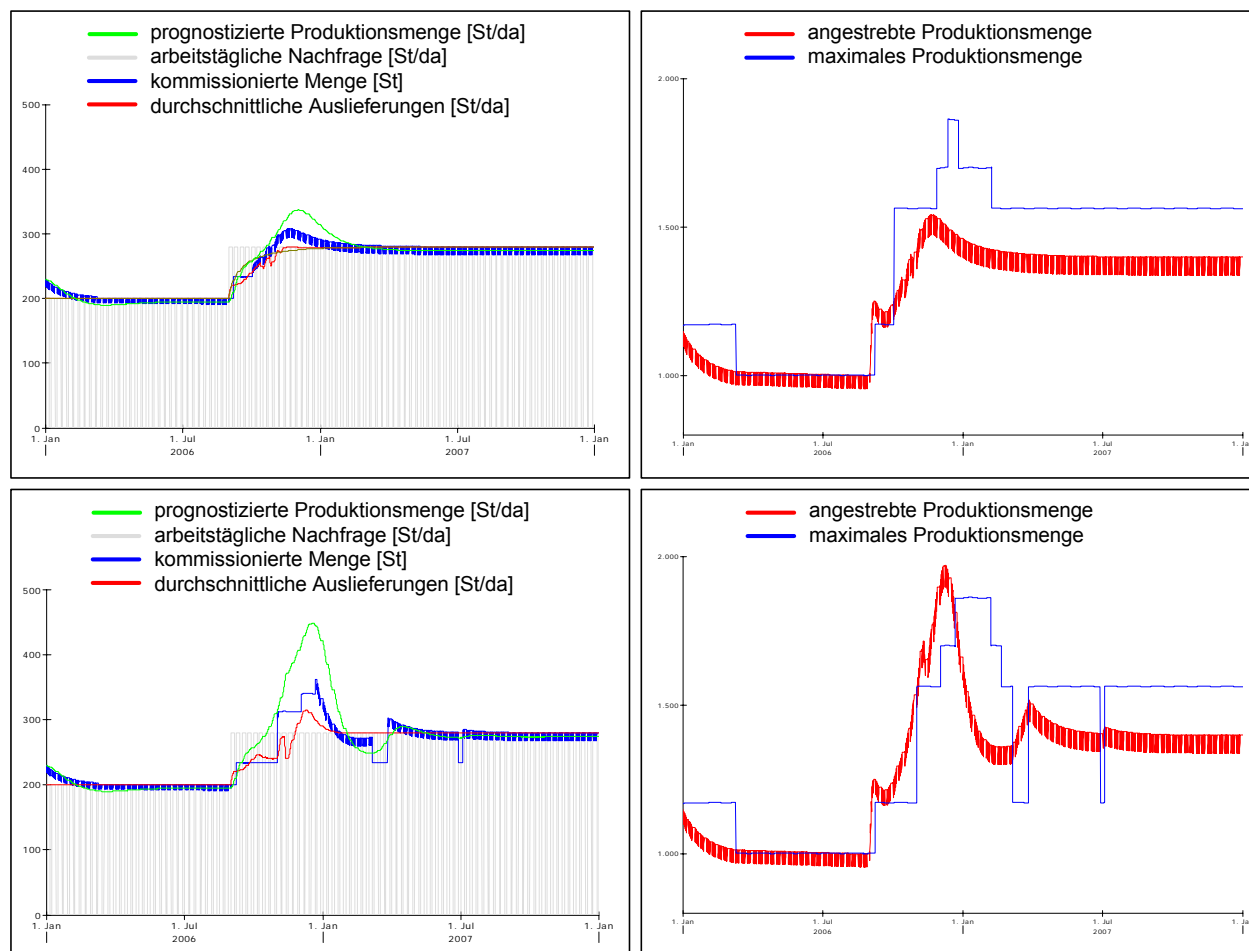


Abbildung 58: Auswirkungen einer erhöhten Einstellungszeit bei einem Nachfrageanstieg⁵⁷⁸

Der durch die Testfunktion vorgegebene Anstieg der Nachfrage führt zu einem Anstieg der prognostizierten Produktionsmenge. Bei einer Vervielfachung der Handlungszeit für die Einstellung von Personal, steigt die prognostizierte Produktionsmenge stärker an, weil zunehmend mehr unbearbeitete Aufträge abgearbeitet werden müssen. Die zeitverzögerte Reaktion führt zu einer größeren angestrebten Produktionsmenge. Auf den Anstieg des zu erwartenden Produktionsprogramms wird mit der Einstellung von Personal geantwortet. Erst nach der Einstellung des Personals steigt die Kapazität und das Produktionsprogramm kann abgearbeitet werden. Der durch die prognostizierte Nachfrage beschriebenen Personalbedarfskurve wird sehr stark zeitversetzt gefolgt. Dies führt zu einer Überreaktion, indem mehr produziert wird, als für die reine Abarbeitung der aufgelaufenen Aufträge notwendig gewesen wäre. In Folge kommt es zur kurzzeitigen Unterschreitung des langfristig konstanten Produktionsprogramms und für kurze Zeit sogar zum Personalabbau unter das langfristig erforderliche Maß. Die in Anhang 2 niedergeschriebenen Simulationsergebnisse bestätigen die negativen Wirkungen verlängerter Einstellungszeiten. Der Kostenstellensaldo halbiert sich bei einer Vervielfachung der Einstellungszeiten.

⁵⁷⁸ Eigene Darstellung aus den Simulationsergebnissen der Szenarien 3 und 6. [Vgl. Anhang 2]

6.5.4 Prozessverbesserung durch das Rationalisierungsprojekt

Die Notwendigkeit der Durchführung eines Rationalisierungsprojektes erwächst einerseits aus der mittelfristig auftretenden Nachfrage nach neuen Varianten. Die Produktiveinheit „Verzahren“ ist durch Integration weiterer Aggregate an die Anforderungen, die aus den neuen Varianten erwachsen, anzupassen. Andererseits wurde ebenfalls für die Produktiveinheit „Verzahren“ Optimierungspotential im Rahmen des KVP entdeckt. Durch eine Programmierung der speicherprogrammierbaren Steuerung kann dieses gehoben werden. Die Integration weiterer Aggregate, die Programmierung der speicherprogrammierbaren Steuerung und die anschließend notwendige Schulung des Personals macht die Einstellung von Fachpersonal erforderlich. Dieses ist eine definierte Zeit im Unternehmen tätig. Die Schulungsmaßnahmen führen zu einem Anstieg der Ausbringung der Produktiveinheit je Zeiteinheit, die sich durch eine Anlaufkurve beschreiben lässt. Deren Verlauf kann durch bereits durchgeführte ähnliche Projekte im Unternehmen genau geschätzt werden.

Bei der historischen, leicht schwankenden Nachfrage wird vermutet, dass das Rationalisierungsprojekt lediglich Personalkosten verursacht, ohne weiteren Nutzen zu stiften. Bisher wurde deshalb auf die Durchführung des Projektes verzichtet.

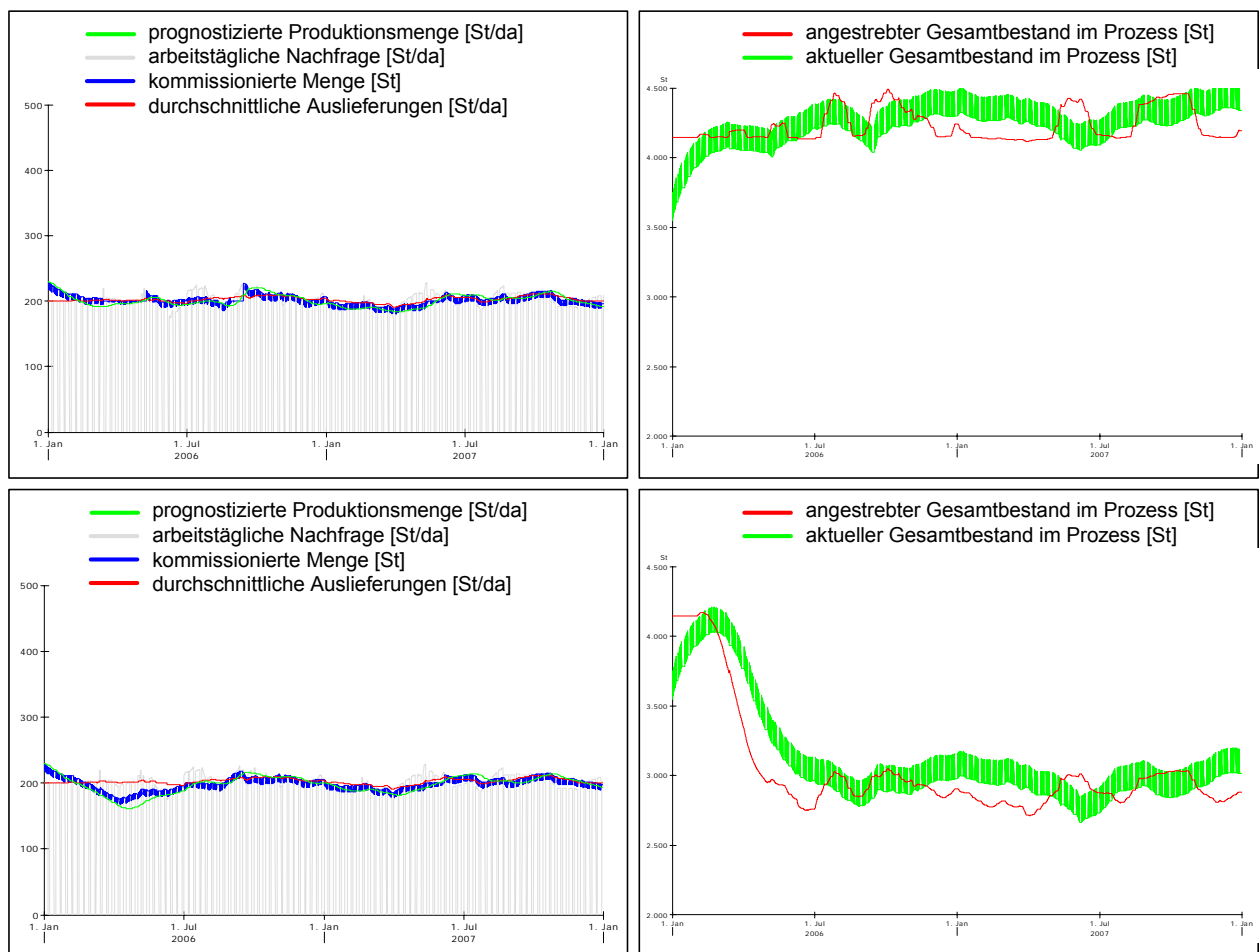


Abbildung 59: Auswirkung des Rationalisierungsprojektes bei historischem Nachfrageverlauf⁷⁹

⁷⁹ Eigene Darstellung aus den Simulationsergebnissen der Szenarien 7 und 8. [Vgl. Anhang 2]

In den Szenarien 7 und 8 werden die Auswirkungen des Rationalisierungsprojektes auf den Produktionsbereich bei der historischen, leicht um 200 [Stück/Tag] schwankenden Nachfrage untersucht. Abbildung 59 zeigt im oberen Teil die Ergebnisse der Simulationsläufe ohne Rationalisierung, im unteren Teil mit Durchführung eines Rationalisierungsprojektes. Der linke Teil der Abbildung zeigt wieder die Anpassung der täglich kommissionierten Menge an die Nachfrage.⁵⁸⁰

Das langfristig durchschnittliche Produktionsprogramm wird temporär unterschritten, um den Gesamtbestand im Prozess zu reduzieren. Bei einem Rationalisierungsprojekt sinkt der notwendige Bestand an Produkten im Produktionsprozess zum Erreichen der optimalen Durchlaufzeit, wie der rechte untere Teil der Abbildung zeigt. Die kommissionierte Menge sinkt für eine bestimmte Zeit unter die tägliche Nachfrage. Aus diesem Grund sinken die Verrechnungskosten für die in Anspruch genommenen Flächen. Ebenso werden die Kosten dadurch reduziert, dass der niedrigere Bestand im Produktionsprozess einen geringeren Materialeinkauf erfordert. Insgesamt übersteigen die positiven Effekte die Zusatzausgaben, die durch Einstellung des Schulungspersonals für das Rationalisierungsprojekt entstehen.

Die Durchführung des Rationalisierungsprojektes ist zusammenfassend auch sinnvoll, wenn die erwartete zukünftige Nachfrage für den Produktionsbereich nicht eintrifft. Im Fall des Eintreffens des erwarteten Nachfrageverlaufes zeigen sich die gleichen Verhaltensweisen.⁵⁸¹

⁵⁸⁰ Die Menge zu kommissionierenden Materials liegt anfänglich über dem langfristig notwendigen Niveau, weil ein Sicherheitsbestand von 5 Tagen aufgebaut wird.

⁵⁸¹ Vgl. die Simulationsergebnisse der Szenarien 10 und 11.

6.6 Evaluation des Anwendungsbeispiels

Mit der Anwendung der Methode im vorliegenden Fallbeispiel konnte der Nachweis erbracht werden, dass die entwickelten Elemente des Flexibilitätsmanagementzyklus umsetzbar sind. Es bleibt zu prüfen, wo Vor- und Nachteile bei einer Flexibilitätsgestaltung unter Nutzung der Elemente des Flexibilitätsmanagementzyklus liegen, ob die Methode auf andere Problemstellungen übertragbar ist und welchem Bearbeitungsaufwand welcher Nutzen gegenübersteht.

Die Erfassung des internen und externen Flexibilitätsbedarfs bedient sich methodischer Hilfsmittel, wie dem Technologiekalender, sowie unternehmensinterner Informationsmechanismen, wie dem Berichtswesen, die in unterschiedlicher Form in jedem Unternehmen vorhanden sind. Der abstrakte Verweis auf die in unterschiedlicher Form vorhandenen methodischen Hilfsmittel ermöglicht die Bearbeitung von Flexibilitätsproblemen, die bezüglich des Flexibilitätsbedarfes unterschiedliche Ursachen haben können und bezüglich des Flexibilitätsangebotes verschiedene Unternehmensfunktionen zu berücksichtigen in der Lage sind. Der erarbeitete Flexibilitätsmanagementzyklus beinhaltet freie Skalierbarkeit in zweifacher Hinsicht. Zunächst können beliebige Untersuchungszeiträume abgebildet werden. Ebenso ist das Abstraktionsniveau, auf dem das Produktionssystem abgebildet wird, frei skalierbar. Obwohl der Betrachtungsbereich inhaltlich weit gefasst werden kann, erfolgt bei der Ableitung von Flexibilitätsproblemen eine Fokussierung auf kritische Problembereiche. Eine dynamische Abbildung von Flexibilitätsproblemen ist in der Lage, die mentalen Modelle der involvierten Akteure aufeinander abzustimmen.

Die Abbildung der Flexibilitätsprobleme in Systemmodellen wird in die drei Bestandteile Beschreibung der Produktiveinheiten, Beschreibung der Steuerung und Regelung, Beschreibung der Entwicklung der Ressourcen getrennt. Die empfohlene Simulationsmethode für die drei Bestandteile reicht von diskret über diskret/kontinuierlich bis zu kontinuierlich. Die auf diese Weise realisierte Erstellung hybrider Simulationsmodelle hat den Vorteil, dass einerseits das streng deterministische Ausführungssystem realitätsnah abgebildet werden kann, andererseits aber auch nichtlineare Zusammenhänge zwischen Systemvariablen sowie Rückkopplungen, wie sie für soziotechnische Systeme üblich sind, in die Untersuchung integriert werden können. Das Verhalten der operativen Ebene wurde bei in der Literatur beschriebenen Arbeiten bei der Abbildung des Produktionssystems bis auf die Abbildung binärer Entscheidungen vernachlässigt. Es wurde nur jeweils die Änderung einer Handlungsalternative und die daraus resultierenden Folgen für eine Problemstellung abgebildet. Durch Einsatz kontinuierlicher Modellbestandteile wird es möglich, ganze Handlungsspielräume abzubilden und Flexibilität auf diese Weise sichtbar zu machen.

In einzelnen Simulationsszenarien können die Merkmale der Flexibilität variiert werden. Es wird geprüft, inwieweit Handlungsziele mit einem bestimmten Handlungsalternativenbündel verfolgt werden können. Im Rahmen der Auswertung werden die aufgestellten Hypothesen über das Systemverhalten überprüft. Das Ergebnis der Modellauswertung sind keine absoluten Verhaltensanweisungen. Vielmehr werden durch die Simulationsläufe Sensitivitätsanalysen möglich, die Entscheidungsträgern den Einfluss unterschiedlicher Merkmale der Flexibilität auf das Flexibilitätspotential aufzeigen. Über die beschriebenen Merkmalsänderungen hinaus sind in

Anhang 2 weitere Simulationsszenarien definiert, die auch nichtlineare Schwankungen der Einstellungszeiten berücksichtigen. Kombinationen realer Ausprägungen der Einflussgrößen können auf diese Weise verarbeitet werden. Durch die Kopplung zu weiteren diskreten wie auch kontinuierlichen Systemmodellen ist ein Ausbau in jede inhaltliche Richtung möglich. Unter Bezug auf das Fallbeispiel können beispielsweise Untersuchungen über Maßnahmen zur Beeinflussung der Nachfrage aufgrund veränderten Servicegrades und veränderten Kostenstellensaldos erfolgen. Das Modell kann mit anderen Partialmodellen im Unternehmen verknüpft werden.

Der Aufwand zur Erstellung einer Analyse mit der beschriebenen Vorgehensweise gleicht dem Aufwand zur methodisch unterstützten Erstellung diskreter Simulationsmodelle, wie sie in der Industrie bereits eingesetzt werden. Allein durch die Ablaufsimulation des diskreten Modellbestandteils wird es beispielsweise möglich, Puffer zu dimensionieren und Verfügbarkeiten einzelner Produktionsbereiche zielgerichtet zu erhöhen. Die Erweiterung der Problembeschreibung um kontinuierliche Modellbestandteile erlaubt die Darstellung von Systemverhaltensweisen aufgrund von Rückkopplungen und nicht linearen Beziehungen. Dadurch wird es beispielsweise möglich, bestehende Wirkungszusammenhänge zu berücksichtigen und Interaktionen mit anderen Funktionsbereichen in die Betrachtung zu integrieren. Ein Schwachpunkt kontinuierlicher Simulationsmodelle ist die geringe Möglichkeit der Validation der Modelle. Durch Einsatz quasi-diskreter Bestandteile bei der Modellierung des Ausführungssystems konnten die Abweichungen der Ankunftszeit, die mit dem Einsatz von Material Delays mit höherem Ordnungsgrad in reinen kontinuierlichen Modellen einhergehen, eliminiert werden. Die Validitätsprüfung kontinuierlicher Modellbestandteile beschränkt sich auf eine laufende Funktionsprüfung von Partialmodellen während der Modellerstellung. Die dadurch sichergestellte Realitätsnähe der Darstellung von Systemverhaltensweisen kann als ausreichend eingeschätzt werden.

Die Anwendung der entwickelten Vorgehensweise zielt aufgrund der linearen Anordnung der Produktiveinheiten sowie der Produktion nur einer Produktfamilie einerseits auf mehrstufige Reihen- und Fließproduktionen der Serienfertigung in Fertigungslinien, Fließbändern und Transferstraßen sowie andererseits auf weitere übergeordnete Produktiveinheiten, wie zum Beispiel ganze Unternehmen. Die Modellierung einer Anordnung der Fertigungseinrichtungen über das Fließprinzip hinaus sowie mehrerer Produktfamilien wurde in dieser Arbeit nicht durchgeführt. Die vorgestellte Vorgehensweise ist für eine Erweiterung in dieser Hinsicht offen. Bei Erweiterungsvorhaben ist zu prüfen, inwieweit der Zusatzaufwand für die realitätsnähere Darstellung und den Verzicht auf Annahmen, die für Simulationsprojekte üblich sind, einen zusätzlichen Nutzen stiften kann.

Die erarbeitete Vorgehensweise ist reproduzierbar. Sie kann bei auftretender Dynamik sowohl bei bestehenden, als auch bei neu zu konzipierenden sowie zu verändernden Produktionssystemen eingesetzt werden. Die erarbeiteten elementaren Bestandteile kontinuierlicher Systemmodelle wurden im Fallbeispiel benötigt und können als Grundlage für die Erstellung weiterer Modelle genutzt werden. Unabhängig von der Auslegung des Simulationsmodells ist der Erfolg stark von der fachlichen Ausbildung der Mitarbeiter bezüglich der Erstellung von Simulationsmodellen abhängig.

7 Zusammenfassung

Mit hoher Geschwindigkeit wechselnde qualitative und quantitative Marktanforderungen erfordern von Unternehmen geeignete Anpassungsmechanismen. Das Produktionssystem tauscht mit anderen funktionalen Subsystemen des Unternehmens Informationen und Material aus. Die Umweltdynamik findet einerseits Eingang in die strategische Planung und führt andererseits auf operativer Ebene und im Ausführungssystem zu ungeplanter Turbulenz. Die taktische Ebene steht vor der Aufgabe, interne und externe Flexibilitätsanforderungen und die Flexibilitätspotentiale des Produktionsbereiches aufeinander abzustimmen.

Flexibilitätsgestaltende Entscheidungen können unterstützt werden, indem das Anpassungsverhalten des Produktionssystems abgeschätzt und erklärt wird. Ziel ist eine Gegenüberstellung des Nutzens und der Kosten von Maßnahmen zur Veränderung des Flexibilitätspotentials. Es gilt, kritische Größen zu ermitteln, denen besondere Beachtung bei der Gestaltung eines flexiblen Produktionsbereiches zukommen muss. Die notwendige Integration der Zeitkomponente in die Betrachtung erfordert eine methodische Unterstützung durch Simulation.

In der Literatur finden sich simulationsbasierte Ansätze, welche das Ausführungssystem in diskreten Simulationsmodellen detailliert abbilden und sukzessive die Auswirkungen unterschiedlicher Handlungsalternativen untersuchen. Bei der Beschreibung des Systemverhaltens werden vorhandene Interdependenzen, Rückkopplungsbeziehungen und nichtlineares dynamisches Verhalten innerhalb des Produktionssystems nur in Grenzen behandelt. Durch Berücksichtigung dieser Anforderungen in kontinuierlichen Simulationsmodellen ist eine Beschreibung des selbständigen Anpassungsverhaltens des Produktionssystems unter Nutzung der vorgegebenen Handlungsspielräume möglich. Bisher lassen sich in der Literatur keine Ansätze finden, welche diese Anforderungen beinhalten und die spezifischen Herausforderungen der Gestaltung der Flexibilität des Produktionsbereiches des einzelnen Unternehmens in einer geschlossenen Vorgehensweise verarbeiten.

In der Arbeit wurde ein in sich geschlossener Flexibilitätsmanagementzyklus entwickelt. Die Vorgehensweise zur Beschreibung von Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot ermöglicht es, das Untersuchungsfeld einzuengen und kritische Problemstellungen zum Untersuchungsgegenstand zu machen. Durch definierte Leitfragen werden Flexibilitätsbedarf und Flexibilitätsangebot auf dem Abstraktionsniveau beschrieben, das den erwarteten zukünftig kritischen Verhaltensweisen entspricht. Aus der Gegenüberstellung von Flexibilitätsbedarf und –angebot lassen sich Hypothesen über zukünftige Flexibilitätsprobleme ableiten. Die Verknüpfung des untersuchten Produktionsbereiches über Schnittstellen zu anderen Funktionsbereichen wird durch die Wahl eines der jeweils abgebildeten Problemstellung entsprechenden Abstraktionsgrades erleichtert. Durch die Erstellung hybrider Simulationsmodelle wird es möglich, das Ausführungssystem mittels diskreter Systembestandteile detailliert abzubilden ohne auf die Beschreibung selbständigen Anpassungsverhaltens durch Ausnutzung gegebener Handlungsspielräume in kontinuierlichen Modellbestandteilen verzichten

zu müssen. Unter Nutzung der vorgeschlagenen Vorgehensweise kann beschrieben werden, welches Verhalten das System bei notwendigen Anpassungen zeigt. Alle Merkmale der Flexibilität können in einem Modell abgebildet werden. Das Flexibilitätspotential des Produktionssystems wird auf diese Weise sichtbar. Die Auswirkungen interner und externer Dynamik auf das Systemverhalten werden durch Parameteränderungen ausgehend von den identifizierten Flexibilitätsproblemen strukturiert modelliert und analysiert. Die Auswertung der Simulationsergebnisse unterstützt Entscheidungsträger auf taktischer Ebene bei der Gestaltung der operativen Ebene durch Definition von Handlungsspielräumen, um bei auftretender interner und externer Dynamik ein angemessenes Flexibilitätspotential bereitstellen zu können.

Die Praktikabilität der Vorgehensweise wurde an einem Fallbeispiel überprüft. Die Abbildung diskreter Modellbestandteile ist in Unternehmen gebräuchlich und ermöglicht eine Erforschung von Problemstellungen im Erklärungszusammenhang. Den größten wirtschaftlichen Nutzen entfalten dabei pragmatische Ansätze bei denen mit einer Vielzahl vereinfachender Annahmen Wertschöpfungsketten auf Optimierungspotential überprüft werden. Auch innerhalb der erarbeiteten Vorgehensweise wird auf vereinfachende Annahmen wie das Vorhandensein von Produktfamilien aufgesetzt. Mittels kontinuierlicher Modellbestandteile werden Wirkungszusammenhänge und damit die Mechanismen zur Steuerung des Systemverhaltens abgebildet, die ineinander greifen, sich auf nicht lineare Zusammenhänge gründen und sehr komplex sind. Trotz Einbettung in eine strukturierte Vorgehensweise muss auf einen mit der Anwendung von Simulationsstudien verbundenen Nachteil hingewiesen werden. Ein Großteil der Ergebnisse der Simulationsstudie ist vom Geschick des Modellbauers abhängig.

Die problemorientierte Wahl des Abstraktionsgrades und die Simulation durch eine grafisch unterstützte Simulationssprache ermöglicht Verknüpfungen erstellter Simulationsmodelle zu vorhandenen Partialmodellen anderer Funktionsbereiche oder zu anderen Problemstellungen. Während die Validität diskreter Modellbestandteile durch einfachen Vergleich mit realen Daten schnell geprüft werden kann, besteht bezüglich der Validation kontinuierlicher Modellbestandteile Forschungsbedarf.

Die erarbeiteten Simulationsmodelle sind Erklärungsmodelle, die Entscheidungen durch die Erarbeitung von Erkenntnissen über Wirkungszusammenhänge unterstützen. Den größten Unterschied zu bestehenden Ansätzen bietet die Möglichkeit, ganze Handlungsspielräume und das Verhalten von Akteuren auf der operativen Ebene durch die Modellierung von Erwartungen abbilden zu können. Allein durch das Vorhandensein einsatzfähiger Simulationswerkzeuge kann das Flexibilitätspotential eines Unternehmens aufgewertet werden, weil eine Handlungsalternative mehr zur Verfügung steht, erforderliche Anpassungen zeitnah zu realisieren. Die Vorgehensweise ermöglicht eine unmittelbare praktische Umsetzung. Die erarbeiteten Modellbestandteile sind ohne jede Anpassung auf die Abbildung von Problemstellungen übertragbar, die aufgrund anderer Turbulenzkeime, wie beispielsweise einer Änderung der Lieferbedingungen, entstehen.

Literaturverzeichnis

- Akin, B. (1999):** Festlegung der Bevorratungsebene in fertigungstechnischen Unternehmen. Diss., Wiesbaden 1999.
- Apel, H. (1979):** Simulation sozio-ökonomischer Zusammenhänge. Darmstadt 1979.
- Ashby, W. R. (1985):** Einführung in die Kybernetik. 2. Aufl., Frankfurt am Main 1985.
- Baetge, J. (1974):** Betriebswirtschaftliche Systemtheorie. Regelungstheoretische Planungs-Überwachungsmodelle für Produktion, Lagerung und Absatz. Opladen 1974.
- Barlas, Y. (1996):** Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. In: System Dynamics Review 1996, Heft 3, S. 183-210.
- Beer, S. (1966):** Decision and Control. The Meaning of Operational Research and Management Cybernetics. Chicester u.a. 1966.
- Behrbohm, P. (1985):** Flexibilität in der industriellen Produktion. Grundüberlegungen zur Systematisierung und Gestaltung der produktionswirtschaftlichen Flexibilität. Bern u.a. 1985.
- Bunz, A.; Hopfmann, L. (1987):** Simulationsmodelle vom Typ System Dynamics als Instrument zur strategischen Planung flexibler Montagesysteme. In Biethahn, J.; Schmidt, B. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe. Methoden, Werkzeuge, Anwendungen. Berlin, Heidelberg 1987, S. 213-224.
- Butz, H.-W. (1976):** Geplante Flexibilität in Unternehmen der Einzelfertigung. Diss., Aachen 1976.
- Corsten, H. (2000):** Produktionswirtschaft. 9. Aufl., München, Wien 2000.
- Corsten, H.; Gössinger, R. (2003):** Eigenschaftsorientierte Modellierung von Kalkülen zur Flexibilitätsgestaltung. Kaiserslautern 2003.
- Damisch, P. N. (2001):** Wertorientiertes Flexibilitätsmanagement durch den Realoptionsansatz. Diss., Wiesbaden 2001.
- Das, T.K.; Elango, B. (1995):** Managing strategic flexibility: Key to effective performance. In: Journal of general management 1995, Heft 3, S. 60-75.
- DIN 19226** Regelungstechnik und Steuerungstechnik.

- Dormayer, H.-J. (1986):** Konjunkturelle Früherkennung und Flexibilität im Produktionsbereich. München 1986.
- Drexl, A.; Fleischmann, B.; Günther, H.-O. et al. (1994):** Konzeptionelle Grundlagen kapazitätsorientierter PPS-Systeme. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (ZfbF) 1994, S. 1022-1045.
- Eversheim, W. (Hrsg.) (1999):** Betriebshütte - Produktion und Management. 7. Aufl., Berlin u.a. 1999.
- Fleischmann, B. (1996):** Operations Research für die Produktion. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1357-1370.
- Forrester, J. W. (1962):** Industrial Dynamics. Cambridge 1962.
- Forrester, J. W. (1972):** Grundzüge einer Systemtheorie. Wiesbaden 1972.
- Forrester, J. W. (1975):** Industrial Dynamics - After the first Decade. In: Collected Papers of Jay W. Forrester. Cambridge, Mass. 1975, S. 133-150.
- Frank, M. (1999):** Modellierung und Simulation - Terminologische Probleme. In: Biethahn, J.; Hummeltenberg, W.; Schmidt, B.; Stähly, P.; Witte, Th. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe. State of the Art und neuere Entwicklungen. Heidelberg 1999, S. 50-64.
- Freese, E. (1999):** Organisationsstrukturen und Managementsysteme. Grundlagen der Organisationsgestaltung. In: Eversheim, W. (Hrsg.) (1999): Betriebshütte - Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin u.a. 1999, S. 3-1 - 3-27.
- Gabler-Wirtschafts-Lexikon (1997):** Gabler-Wirtschafts-Lexikon. Wiesbaden 1997.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H. (2003):** Produktion und Logistik. 5. Aufl., Berlin u.a. 2003.
- Gutenberg, E. (1951):** Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Band 1: Die Produktion. Berlin u.a. 1951.
- Hahn, D. (1996):** Strategische Produktionsplanung. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1521-1534.
- Haller, M. (1999):** Bewertung der Flexibilität automatisierter Materialflusssysteme der variantenreichen Großserienproduktion. Diss., München 1999.
- Heel, J.; Krüger, J. (1999):** Personalorientierte Simulation. Praxis und Entwicklungspotential. Aachen 1999.
- Hillmer, H.-J. (1987):** Planung der Unternehmensflexibilität. Schriften zur Unternehmensplanung. Frankfurt/Main 1987.

- Hoitsch, H.-J. (1993):** Produktionswirtschaft. Grundlagen einer industriellen Betriebswirtschaftslehre. 2. Aufl., München 1993.
- Hopfmann, L. (1989):** Flexibilität im Produktionsbereich: ein dynamisches Modell zur Analyse und Bewertung von Flexibilitätspotentialen. 1989.
- Horvath, P.; Mayer, R. (1986):** Produktionswirtschaftliche Flexibilität. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) 1986, Heft 2, S. 69-76.
- Jacob, H. (1974a):** Unsicherheit und Flexibilität - Zur Theorie der Planung bei Unsicherheit. Teil 1. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (ZfB) 1974, Heft 5, S. 299-325.
- Jacob, H. (1974b):** Unsicherheit und Flexibilität - Zur Theorie der Planung bei Unsicherheit. Teil 2. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft (ZfB) 1974, Heft 6, S. 402-448.
- Jacob, H. (1996):** Produktions- und Absatzprogrammplanung. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1468-1483.
- Janssen, H. (1997):** Flexibilitätmanagement. Controlling-Entwicklungen. Stuttgart 1997.
- Kahle, E. (1996):** Produktionswirtschaftliche Ziele. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 2315-2324.
- Kaluza, B. (1989):** Erzeugniswechsel als unternehmenspolitische Aufgabe. Integrative Lösungen aus betriebswirtschaftlicher und ingenieurwissenschaftlicher Sicht. Berlin 1989.
- Kaluza, B. (1994):** Rahmenentscheidungen zu Kapazität und Flexibilität produktionswirtschaftlicher Systeme. In: Corsten, H. (Hrsg.) (1994): Handbuch Produktionsmanagement. Strategie-Führung-Technologie-Schnittstellen. Wiesbaden 1994, S. 51-74.
- Kaluza, B. (1996):** Flexibilität, Controlling der. In: Schulte, Chr. (Hrsg.): Controlling-Lexikon. München, Wien 1996, S. 257-260.
- Kirchhof, R. (2003):** Ganzheitliches Komplexitätsmanagement. Grundlagen und Methodik des Umgangs mit Komplexität im Unternehmen. Wiesbaden 2003.
- Kircher, S.; Winkler, R.; Westkämper, E. (2003):** Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. Ergebnisse einer Unternehmensbefragung unter 200 deutschen produzierenden Unternehmen. werkstattstechnik online (wt) 2003, Heft 4, S. 254-260.
- Klaue, Th. (1990):** Kosten und Nutzen der industriellen Flexibilität. SHORTFLEX - eine computergestützte Systemanalyse. Baden Baden 1990.

- Kobylka, A. (2000):** Simulationsbasierte Dimensionierung von Produktionssystemen mit definiertem Potential an Leistungsflexibilität. Diss., Chemnitz 2000.
- Krallmann, H.; Frank, H.; Gronau, N. (2002):** Systemanalyse im Unternehmen. Vorgehensmodelle, Modellierungsverfahren und Gestaltungsoptionen. 4. Aufl., München, Wien 2002.
- Krause, U.; Nesemann, T. (1999):** Differenzengleichungen und diskrete dynamische Systeme. Stuttgart, Leipzig 1999.
- Krieg, W. (1971):** Kybernetische Grundlagen der Unternehmensführung. St. Gallen 1971.
- Krycha, K.-T. (1996):** Produktionstypologien. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1617-1629.
- Küll, R.; Stähly, P. (1999):** Zur Planung und effizienten Abwicklung von Simulationsexperimenten. In: Biethahn, J.; Hummeltenberg, W.; Schmidt, B.; Stähly, P.; Witte, Th. (Hrsg.): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe. State of the Art und neuere Entwicklungen. Heidelberg 1999, S. 1-21.
- Lange-Stalinski, Th. (2003):** Methodik zur Gestaltung und Bewertung mobiler Produktionssysteme. Diss., Aachen 2003.
- Liehr, M. (2002):** Komponentenbasierte Systemmodellierung und Systemanalyse. Erweiterung des System-Dynamics-Ansatzes zur Nutzung im strategischen Management. Diss., Wiesbaden 2004.
- Luhmann, N. (1993):** Soziale Systeme. Grundriß einer allgemeinen Theorie. 4. Aufl., Frankfurt am Main 1993.
- Lyneis, J. M. (1980):** Corporate Planning and policy design. Cambridge, London 1980.
- Maier, K. (1982):** Die Flexibilität betrieblicher Leistungsprozesse. Methodische und theoretische Grundlegung der Problemlösung. Diss., Frankfurt 1982.
- Meffert, H. (1985):** Größere Flexibilität als Unternehmenskonzept. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (ZfbF) 1985, S. 221-137.
- Milberg, J.; Burger, C.; Zetlmayer, H (1992):** Flexible Regelung der Produktion mit entscheidungsunterstützenden Systemen. In: VDI-Z 1992, Heft 5, S. 140-145.
- Milberg, J.; Burger, C. (1991):** Produktionsregelung als Erweiterung der Produktionsplanung und -steuerung. In: CIM Management 1991, Heft 2, S. 60-64.

- Milling, P. (1979):** Die Konzipierung von Entscheidungsmodellen sozialer Systeme. In: Bea, F.X.; Bohnet, A.; Klimesch, H. (1979): Systemmodelle. Anwendungsmöglichkeiten des systemtheoretischen Ansatzes. München, Wien 1979, S. 39-79.
- Milling, P. (1981):** Systemtheoretische Grundlagen zur Planung der Unternehmenspolitik. Berlin 1981.
- Milling, P. (1982):** Entscheidungen bei unscharfen Prämissen. Betriebswirtschaftliche Aspekte der Theorie unscharfer Mengen. Zeitschrift für Betriebswirtschaft (ZfB) 1982, Heft 8, S. 716-734.
- Milling, P. (1984):** Leitmotive des System-Dynamic-Ansatzes. In Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) 1984, Heft 10, S. 507-546.
- Milling, P. (1987):** Quantifizierungs- und Validierungsprobleme bei Entscheidungs-Unterstützungs-Modellen. In: Biethahn, J.; Schmidt, B. (Hrsg.) (1987): Simulation als betriebliche Entscheidungshilfe: Methoden, Werkzeuge, Anwendungen. Berlin 1987. S. 39-51.
- Milling, P. (1996):** Simulation in der Produktion. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2., Stuttgart 1996, Sp. 1840-1852.
- Milling, P. (1997):** Exponentielle Verzögerungsglieder in der Simulationssoftware Vensim, Forschungsberichte der Fakultät für Betriebswirtschaftslehre, Universität Mannheim, Nr. 9701, Mannheim 1997.
- Milling, P. (2002):** Kybernetische Überlegungen beim Entscheiden in komplexen Systemen. In: Milling, P. (Hrsg.) (2002): Entscheiden in komplexen Systemen. Berlin 2002. S. 11-26.
- Milling, P. (Hrsg.) (2002):** Entscheiden in komplexen Systemen. Wissenschaftliche Jahrestagung der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialkybernetik vom 29. und 30. September 2000 in Mannheim. Berlin 2002.
- Mittelhuber, B.; Kallmeyer, O. (2002):** Wertstromdesign - Ein Werkzeug des Toyota-Production-Systems. In: wt werkstattstechnik online 2002, Heft 3, S. 79-81.
- Mößmer, H.E. (1999):** Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme. München 1999.
- Mössner, G.U. (1982):** Planung flexibler Unternehmensstrategien. München 1982 .
- Nagel, M. (2003):** Flexibilitätsmanagement. Ein systemdynamischer Ansatz zur quantitativen Bewertung von Produktionsflexibilität. Wiesbaden 2003.
- Niemeyer, G. (1977):** Kybernetische System- und Modelltheorie System Dynamics. München 1977

- Ost, S. (1993):** Entwicklung eines Verfahrens zur differenzierten Flexibilitätsanalyse und Bewertung. Diss. Hamburg-Harburg 1993.
- Page, B. (1991):** Diskrete Simulation. Einführung mit Modula 2. Berlin 1991.
- Pleschak, F. (1996):** CAM (Computer Aided Manufacturing. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 270-278.
- Pritschow, G.; Duelen, G.; Bender, K. (1999):** Steuerung von Produktionssystemen. In: Eversheim, W. (Hrsg.) (1999): Betriebshütte - Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin u.a. 1999, S. 10-73 - 10-102.
- Radke, M. (1999):** Die große betriebswirtschaftliche Formelsammlung. 8. Aufl. Landsberg am Lech 1999.
- REFA (1990):** Methodenlehre der Betriebsorganisation: Planung und Betrieb komplexer Produktionssysteme. 2. Aufl., München 1990 .
- Reger, G. (2001):** Gestaltung des Technologie-Früherkennungsprozesses in kleinen und mittleren Unternehmen. In: Meyer, J.-A. (Hrsg.) (2001): Innovationsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen. Jahrbuch der KMU-Forschung 2001. München 2001, S. 75-92.
- Scheer, A.-W. (1999):** Informationsmanagement im Betrieb. In: Eversheim, W. (Hrsg.) (1999): Betriebshütte - Produktion und Management. 7. Aufl. Berlin u.a. 1999, S. 17-1 - 17-77.
- Schiemenz, B. (2002):** Rekursive Strukturen und Problemlösungen. In: Milling, P. (Hrsg.) (2002): Entscheiden in komplexen Systemen. Berlin 2002. S. 175-193.
- Schmidt, B. (1985):** Systemanalyse und Modellaufbau - Grundlagen der Simulationstechnik. Berlin u.a. 1985.
- Schmidt, D. (1992):** Strategisches Management komplexer Systeme. Die Potentiale computergestützter Simulationsmodelle als Instrumente eines ganzheitlichen Managements - dargestellt am Beispiel der Planung und Gestaltung komplexer Instandhaltungssysteme. Frankfurt am Main 1992.
- Schneeweiß, C.; Kühn, M. (1990):** Zur Definition und gegenseitigen Abgrenzung der Begriffe Flexibilität, Elastizität und Robustheit. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (ZfbF) 1990, Heft 5, S. 378-395.
- Schneeweiß, Ch. (1996):** Flexibilität, Elastizität und Reagibilität. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber-J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 489-501.

- Schuh, G.; Gulden, A.; Wemhöner, N.; Kampker, A. (2004):** Bewertung der Flexibilität von Produktionssystemen. Kennzahlen zur Bewertung der Stückzahl-, Varianten- und Produktänderungsflexibilität auf Linienebene. In wt werkstattstechnik online 2004, Heft 6, S. 299-304.
- Schuh, G.; Wemhöner, A.; Kampker, A. (2004):** Lebenszyklusbewertung flexibler Produktionssysteme. Kennzahlen und Verfahren für langfristig optimale Entscheidungen in einer dynamischen Umwelt. In: wt werkstattstechnik online 2004, Heft 4, S. 116-121.
- Schultmann, F.; Heese, H.S.; Rentz O. (2002):** Leistungsanalyse elastisch gekoppelter Fließfertigungssysteme. Vergleich simulationsbasierter und analytischer Verfahren In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 2002, Heft 4, S. 195-204.
- Schwarz, R. (2002):** Controlling-Systeme. Eine Einführung in Grundlagen, Komponenten und Methoden des Controlling. Wiesbaden 2002.
- Schweitzer, M. (1996):** Produktionswirtschaftliche Forschung. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1642-1656.
- Silver (2002):** Simulationsbasierte Systeme zur Integration logistischer und verfahrenstechnischer Entscheidungsprozesse. 2002.
- Skudelny, Ch. (1994):** Entwicklung eines simulationsgestützten Optimierungsmodells zur Planung Flexibler Produktionssysteme. Diss., Aachen 1994.
- Spath, D.; Lanzam G.; Herm, M. (2002):** Geschäftsprozesse mit generischen Petrie-Netzen Verteilte Modellierung, Simulation und Steuerung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb (ZWF) 2002, Heft 9, S. 449-452.
- Specht, D.; Behrens, S. (1999):** Systematisch Erfolg vorbereiten - Die Produkt-Technologie-Analyse ermöglicht eine anwendungsorientierte Technologieanalyse und -bewertung. In: Wissenschaftsmanagement - Zeitschrift für Innovation. 1999, Heft 6, S. 32-35.
- Specht, D.; Frischke, S.; Behrens, S. (2002):** Roadmapping als Instrument der Technologiefrühaufklärung. In: Albach, H.; Kaluza, B.; Kersten, W. (2002): Wertschöpfungsmanagement als Kernkompetenz. Wiesbaden 2002, S. 65-86.
- Specht, D.; Mieke, Ch. (2004):** Anwendungsbereiche und Eignung der Szenariotechnik und des Roadmapping im Technologiemanagement. Wirtschaftswissenschaftliches Studium, Heft 2, S. 95-101.
- Specht, D.; Mieke, Ch.; Behrens, S. (2005):** Flexibilitätspotentiale im Unternehmen durch effektive Technologiemanagement. In: Kaluza, B.; Blecker, Th. (Hrsg.) (2005): Erfolgsfaktor Flexibilität. Strategien und Konzepte für wandlungsfähige Unternehmen. Berlin 2005, S. 295-321.

- Specht, D.; Nagel, J.; Frischke, S. (2004):** Integrationsmodell für Anlaufprozesse. In: Wildemann, H. (Hrsg.): Synchronisation von Produktentwicklung und Produktionsprozess: Produktreife - Produktneuanläufe - Produktionsanlauf. München 2004, S. 69 - 89.
- Specht, G. (1994):** Portfolioansätze als Instrument zur Unterstützung strategischer Programmentscheidungen. In: Corsten, H. (Hrsg.) (1994): Handbuch Produktionsmanagement. Strategie - Führung - Technologie - Schnittstellen. Wiesbaden 1994, S. 105-113.
- Stachowiak, H. (1969):** Denken und Erkennen im kybernetischen Modell. 2. Aufl., Wien, New York 1969.
- Stadtler, H. (1996):** Hierarchische Produktionsplanung. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 631-641.
- Stadtler, H. (1998):** Hauptproduktionsprogrammplanung in einem kapazitätsorientierten PPS-System. Darmstadt 1998.
- Sterman, J. D. (2000):** Business Dynamics. Systems Thinking and Modeling for a complex World. Boston u.a. 2000.
- Strohhecker, J. (1998):** System- und objektorientierte Simulation betriebswirtschaftlicher Entscheidungen. Diss., Berlin 1998.
- Thielen, C.A.L. (1993):** Management der Flexibilität. Integriertes Anforderungskonzept für eine flexible Gestaltung der Unternehmung. St. Gallen 1993.
- Ulrich, H. (1968):** Die Unternehmung als produktives soziales System. Grundlagen der allgemeinen Unternehmungslehre. Stuttgart 1968.
- VDI-Richtlinie 3633:** Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Begriffsdefinitionen. VDI-Gesellschaft Fördertechnik Materialfluss Logistik, Ausgabedatum 1996-11.
- Warren, K. (2002):** Competitive Strategy Dynamics. Chichester 2002.
- Westkämper, E.; Wiendahl, H.-H.; Pritschkow, G.; Rempp, B.; Schanz, M. (2000):** Turbulenz in der PPS - eine Analogie. In: wt werkstattstechnik online 2000, Heft 5, S. 203-207.
- Wiendahl, H.-P. (1997):** Fertigungsregelung. Logistische Beherrschung von Fertigungsabläufen auf Basis des Trichtermodells. München u.a. 1997.
- Wild, B. (1995):** Die Flexibilität von Betriebsvereinbarungen zur Arbeitszeit. Heidelberg 1995.

- Wildemann, H. (1987):** Investitionsplanung und Wirtschaftlichkeitsrechnung für flexible Fertigungssysteme (FFS). Stuttgart 1987.
- Wilms, F.E.P. (2002):** Multipersonelle Konstruktion von Wirkungsgefügen. In: Milling, P. (Hrsg.) (2002): Entscheiden in komplexen Systemen. Berlin 2002. S. 287-301.
- Zahn, E. (1971):** Das Wachstum industrieller Unternehmen. Versuch einer Erklärung mit Hilfe eines komplexen, dynamischen Modells. Wiesbaden 1971.
- Zäpfel, G. (1989a):** Strategisches Produktions-Management. Berlin, New York 1989.
- Zäpfel, G. (1989b):** Taktisches Produktions-Management. Berlin, New York 1989.
- Zäpfel, G. (1996):** Produktionsplanung und -steuerung. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.) (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Stuttgart 1996, Sp. 1391-1405.
- Zülch, G.; Rottinger, S. (2004):** Personalentwicklungsplanung auf der Basis des Technologiekalenderkonzeptes. Industrie Management, Heft 2, S. 58-61.

Anhang

Anhang 1: Vorgehensweise zur Initialisierung des Modells und zur Ermittlung durchlaufzeitoptimaler Bestände

Vorgehensweise zur Initialisierung des Modells zur Erstellung der Szenariodateien

Ziel ist zunächst die Ermittlung der Werte für die Bestandssteuerung.

Es sollen für unterschiedliche Systembelastungen die minimalen Durchlaufzeiten mit den dazugehörigen Beständen ermittelt werden.

- 1) Erstellen eines Szenarios, welches den Prozess mit der bestehenden prozessinternen Steuerung ohne Kapazitätsengpässe abbildet. (Erstellen der Ausgangsdatei)
Simulation der Datei Bestand.sip bis 01.07.2007
Übernahme der Bestände der Prozessverfügbarkeiten in den jeweiligen Prozessen, damit bei 2) ein "Hochlaufen" der Verfügbarkeiten vermieden wird:
Sum_Int_prod_
Sum_Int_unprod_
Sum_Verfueg_nutzb_abs_
nutzb_PZ_
Setzen der Zahl der Zeitarbeiter auf das Maximum (ZA=10) und Schalter S_Pers_Anpas auf 1.
Sonstige Variablen: Einstellungszeit Zeitarbeiter (EZ_ZA_vek) = 2 Wochen;
Kündigungszeitraum Zeitarbeiter (KZ_ZA) = 15 Tage
Diese Datei wird als Basis.sip gespeichert.
- 2) Simulationläufe mit der Datei Basis.sip zur Ermittlung minimaler Durchlaufzeiten mit zugehörigen Beständen für die Bestandssteuerung.
 - Simulationläufe mit unterschiedlichen Prozessbelastungen im Abstand von 20 Stück mit und ohne Aktivierung des Rationalisierungsprojektes.
 - Ausgegangen wird von unverzüglichen Nachfragesprüngen von Null auf die jeweilige Prozessbelastungsmenge zum Zeitpunkt Null. (Bei langsameren Anpassungsgeschwindigkeiten ergeben sich abweichende Werte)
 - Beim Lauf mit Rationalisierungsprojekt wird die Variable akt_LG_V auf 500 Stück gesetzt, damit sich kein Puffer am Arbeitsplatz Endmontage aufbaut
- 3) Integration der Bestandssteuerung und Aufstellen des Ausgangsszenarios
 - Ermittelte Werte für Bestandssteuerung werden in Zuordnungsfunktionen der Datei Basis.sip übertragen.
 - Im Einzelnen werden die Variablen ZF_Nf_Gesbest, ZF_Nf_Gesbest_Rat, ZF_Nachfr_DLZ, ZF_Nachfr_DLZ_Rat, Max_DLZ, Max_DLZ_Rat, max_angestr_Gesbest und max_angestr_Gesbest_Rat initialisiert.
 - Diese Datei wird als Zuordnungsfunktion.sip gespeichert.
 - Die Schalter werden außer dem Schalter S_RP auf "1" gesetzt.
 - Der Simulationszeitraum wird bis zum 01.01.2008 verlängert.
 - Die Zahl der Zeitarbeiter wird auf die Normalbesetzung bei einer Belastung von 200 Stück auf 4 Mitarbeiter gesetzt.
 - Es wird ein Simulationslauf mit einer Belastung von 200 Stück gestartet.
 - Es werden die Bestände im Prozess sowie AB, durchschn_Ausl und Gesbest_geglaet als Initialwerte übernommen.
 - Diese Datei wird als Referenzszenario.sip gespeichert.

Es erfolgt die Dokumentation der Ausgangsdatei Referenzszenario.sip.

Alle vorherigen Zustände können durch Elimination der Initialwerte hergestellt werden.

Änderung des Parameters gegenüber Referenzszenario		Saldo	Kostenstielensaldo der Kostenstelle IV
Abloff	Schalter zum Aktivieren und Deaktivieren der Berücksichtigung von Auftrag-bestandsdifferenzen bei der Produktionsplanung	BW_Fläche	Barwert des monatlich zu zahlenden Flächenverrechnungssatzes
Bestirff	Schalter zum Aktivieren und Deaktivieren der Berücksichtigung der Bestandsdifferenz in der Produktionsplanung	BW_FA	Barwert der Personalausgaben für festangestellte Mitarbeiter
Kap_restr	Schalter zum Aktivieren und Deaktivieren der Berücksichtigung möglicher Kapazitätsrestriktionen bei der Produktionsplanung	BW_Ausl	Barwert der Gutschrift für Auslieferungen an die nachgelagerte Kostenstelle
Pers_Anp	Schalter zum Aktivieren und Deaktivieren der Berücksichtigung der Personalanpassung bei der Produktionsplanung	Barwert_Mat	Barwert der Belastung der Kostenstelle durch Materialeinkauf
a	Schalter Verrechnungssatz Auslieferungen. Berücksichtigung der Servicegradverschlechterung beim Verrechnungssatz Auslieferungen	Mat_Eink	Barwert der Belastung der Kostenstelle IV durch Kostenstelle I
VS_Ausl	Schalter Rationalisierungsprojekt	Barwert_I	Barwert der Belastung der Kostenstelle IV durch Kostenstelle I
RP	neg. proz. Abw. D.LZ positive prozentuale Abweichung der Durchlaufzeit im Untersuchungszeitraum als Quotient aus tatsächlicher und beabsichtigter Durchlaufzeit	Barwert_II	Barwert der Belastung der Kostenstelle IV durch Kostenstelle II
neg. proz. Abw. D.LZ	positive prozentuale Abweichung der Durchlaufzeit im Untersuchungszeitraum als Quotient aus tatsächlicher und beabsichtigter Durchlaufzeit	Barwert_III	Barwert der Belastung der Kostenstelle IV durch Kostenstelle III
pos. proz. Abw. L.Z	negative prozentuale Abweichung der Lieferzeit im Untersuchungszeitraum als Quotient aus tatsächlicher und beabsichtigter Lieferzeit	SG	Servicegrad als Quotient aus Anzahl der Auslieferungen an Anzahl der Auslieferungen nach Produktionsprogramm
neg. proz. Abw. L.Z	positive prozentuale Abweichung der Lieferzeit im Untersuchungszeitraum als Quotient aus tatsächlicher und beabsichtigter Lieferzeit		

Anhang 3: ermittelte Daten der Bestandssteuerung zur Erstellung der Table-Funktionen

Tabelle: Ermittlung empirischer Daten als Grundlage für die Bestandssteuerung ohne Rationalisierung (Datengrundlage: Ausgangsdatei - Simulationslauf bis 01.07.2007 - bzw. bis Gleichgewicht)

Auslastung [St/da]	max. Auslastung [St/da]	Auslastung in %	min. DLZ bei Auslastung [da]	max DLZ [da]	DLZ in %	angestr. Gesamtbest. [St]	max. angestr. Gesamtbest. [St]	angestr. Gesamtbest. in %
arbt. Nachfrage woch. mon. gelaet			DLZ anzustreb			Gesbest. anzustreb		
140	420	0,33	22,99	22,99	1,000	3218	5812	0,55
160	420	0,38	21,42	22,99	0,932	3427	5812	0,59
180	420	0,43	19,72	22,99	0,858	3550	5812	0,61
200	420	0,48	17,8	22,99	0,774	3561	5812	0,61
220	420	0,52	18,19	22,99	0,791	4000	5812	0,69
240	420	0,57	17,31	22,99	0,753	4155	5812	0,71
260	420	0,62	16,8	22,99	0,731	4367	5812	0,75
280	420	0,67	15,93	22,99	0,693	4459	5812	0,77
300	420	0,71	15,27	22,99	0,664	4581	5812	0,79
320	420	0,76	15,26	22,99	0,664	4882	5812	0,84
340	420	0,81	14,88	22,99	0,647	5060	5812	0,87
360	420	0,86	14,58	22,99	0,634	5249	5812	0,90
380	420	0,90	14,2	22,99	0,618	5396	5812	0,93
400	420	0,95	14,03	22,99	0,610	5610	5812	0,97
420	420	1	13,84	22,99	0,602	5812	5812	1,00

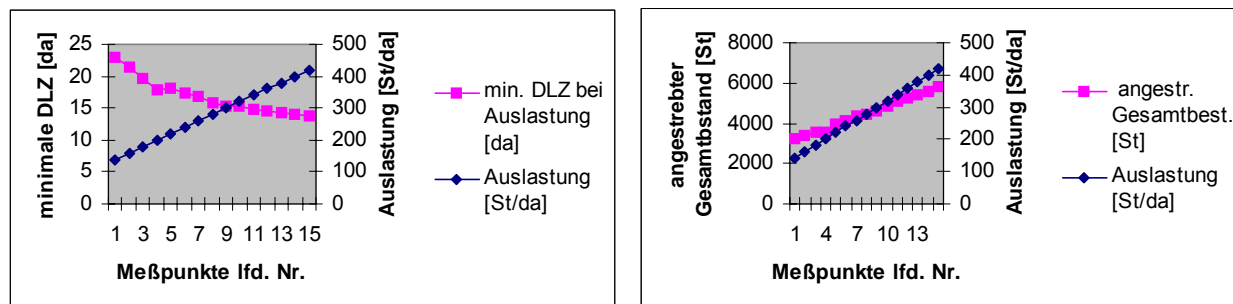
mit Rationalisierung (Datengrundlage: Ausgangsdatei - Simulationslauf bis 01.07.2007 - bzw. bis Gleichgewicht)

Auslastung [St/da]	max. Auslastung [St/da]	Auslastung in %	min. DLZ bei Auslastung [da]	max DLZ [da]	DLZ in %	angestr. Gesamtbest. [St]	max. angestr. Gesamtbest. [St]	angestr. Gesamtbest. in %
arbt. Nachfrage woch. mon. gelaet			durchschn. DLZ langfr. EW			Gesbest. gelaet		
140	420	0,33	12,36	12,36	1,000	1730	4431	0,39
160	420	0,38	12,14	12,36	0,982	1943	4431	0,44
180	420	0,43	11,57	12,36	0,936	2083	4431	0,47
200	420	0,48	11,29	12,36	0,913	2258	4431	0,51
220	420	0,52	11,23	12,36	0,909	2470	4431	0,56
240	420	0,57	11,24	12,36	0,909	2696	4431	0,61
260	420	0,62	11,1	12,36	0,898	2885	4431	0,65
280	420	0,67	10,68	12,36	0,864	2990	4431	0,67
300	420	0,71	10,43	12,36	0,844	3129	4431	0,71
320	420	0,76	10,63	12,36	0,860	3401	4431	0,77
340	420	0,81	10,65	12,36	0,862	3621	4431	0,82
360	420	0,86	10,48	12,36	0,848	3774	4431	0,85
380	420	0,90	10,18	12,36	0,824	3868	4431	0,87
400	420	0,95	10,29	12,36	0,833	4115	4431	0,93
420	420	1	10,55	12,36	0,854	4431	4431	1,00

Anhang 4: Gegenüberstellung der Kennlinien zur Bestandssteuerung bei unterschiedlichen Losgrößen

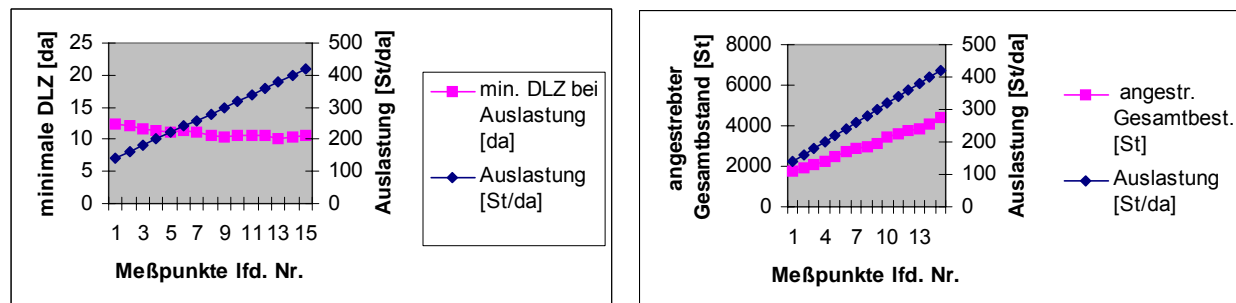
Kennlinienverlauf: Losgröße Prozess Verzahnen 2000 Stück

Datengrundlage: 0_Szenario.sip; Simulationslauf bis 01.07.2007



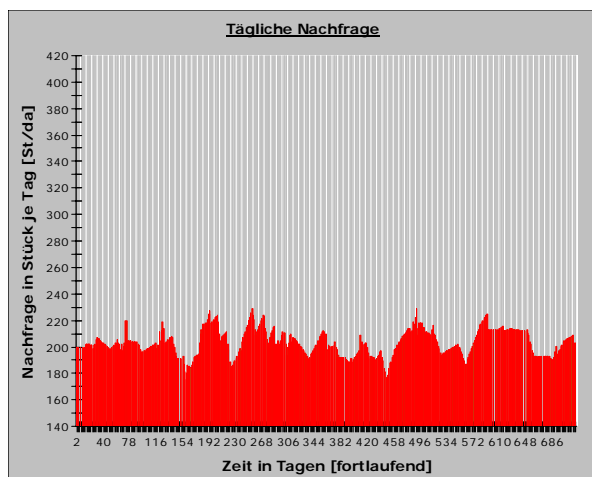
Kennlinienverlauf: Losgröße Prozess Verzahnen reduziert auf 500 Stück

Reduktion durch Rationalisierungsprojekt; Datengrundlage: 0_Szenario.sip; Simulationslauf bis 01.07.2007

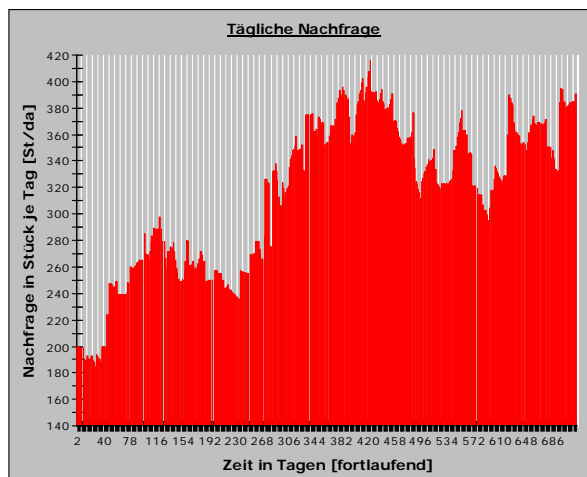


Anhang 5: Verlauf der Parameteränderungen der Simulationsszenarien

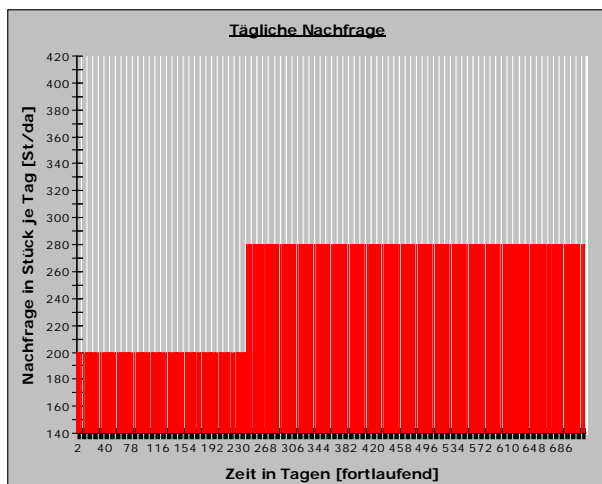
Historischer Nachfrageverlauf



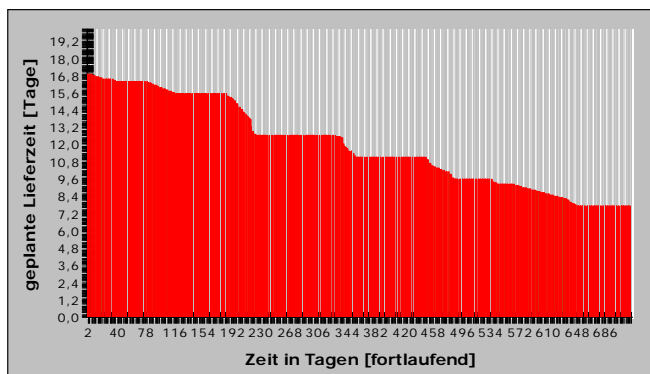
Prognostizierter Nachfrageverlauf



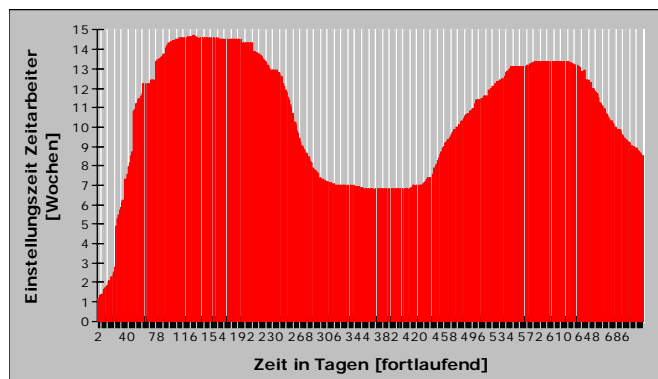
Nachfrageverlauf mit Sprungfunktion (Anstieg von 200 auf 280 Stück je Tag nach 8 Monaten)



Veränderung der geplanten Lieferzeit



Veränderung der Einstellungszeit



Anhang 6: Dokumentation von Modellbestandteilen



























First-Order Material Delay

Name	Unit	Definition
ABFLUSSMD 1	da ⁻¹	WIPMD 1/VZMD 1
ABFLUSSMD 1_ab_VZMD 1	da ⁻¹	IF(TIME>STARTTIME+VZMD 1;ABFLUSSMD 1;0/1<<da>>)
ABFLUSSMD 1_bis_VZMD 1	da ⁻¹	IF(TIME<STARTTIME+VZMD 1;ABFLUSSMD 1;0/1<<da>>)
INPMD 1	da ⁻¹	IF(TIME=STARTTIME;1/TIMESTEP;0/1<<da>>)
Niveau_End		0
ABFLUSSMD 1.in		ABFLUSSMD 1
SUM_ABFLUSSMD 1_ab_VZMD 1		0
ABFLUSSMD 1_ab_VZMD 1.in		ABFLUSSMD 1_ab_VZMD 1
SUM_ABFLUSSMD 1_bis_VZMD 1		0
ABFLUSSMD 1_bis_VZMD 1.in		ABFLUSSMD 1_bis_VZMD 1
VZMD 1	da	30<<da>>
WIPMD 1		0
ABFLUSSMD 1.out		ABFLUSSMD 1
ZUFLUSSMD 1.in		ZUFLUSSMD 1
ZUFLUSSMD 1	da ⁻¹	INPMD 1/InputMD 1/1<<da>>

High-Order Material Delay

Name	Unit	Definition
ABFLUSS 1MD 3	da ⁻¹	WIP 1MD 3/VZ
ABFLUSS 2MD 3	da ⁻¹	WIP 2MD 3/VZ
ABFLUSS 3MD 3	da ⁻¹	WIP 3MD 3/VZ
ABFLUSS 3MD 3_ab_VZMD 3	da ⁻¹	IF(TIME>STARTTIME+VZ*3;ABFLUSS 3MD 3;0/1<<da>>)
ABFLUSS 3MD 3_bis_VZMD 3	da ⁻¹	IF(TIME<STARTTIME+VZ*3;ABFLUSS 3MD 3;0/1<<da>>)
ABFLUSSMD 3_GES	da ⁻¹	ABFLUSS 3MD 3
INPMD 1	da ⁻¹	IF(TIME=STARTTIME;1/TIMESTEP;0/1<<da>>)
SUM_ABFLUSS 3MD 3_ab_VZMD 3		0
ABFLUSS 3MD 3_ab_VZMD 3.in		ABFLUSS 3MD 3_ab_VZMD 3
SUM_ABFLUSS 3MD 3_bis_VZMD 3		0
ABFLUSS 3MD 3_bis_VZMD 3.in		ABFLUSS 3MD 3_bis_VZMD 3
VZ	da	30<<da>>/3
WIP 1MD 3		0
ABFLUSS 1MD 3.out		ABFLUSS 1MD 3
ZUFLUSSMD 3.in		ZUFLUSSMD 3
WIP 2MD 3		0
ABFLUSS 1MD 3.in		ABFLUSS 1MD 3
ABFLUSS 2MD 3.out		ABFLUSS 2MD 3
WIP 3MD 3		0
ABFLUSS 2MD 3.in		ABFLUSS 2MD 3
ABFLUSS 3MD 3.out		ABFLUSS 3MD 3
WIPGESMD 3		WIP 1MD 3+WIP 2MD 3+WIP 3MD 3
ABFLUSSMD 3_GES.out		ABFLUSSMD 3_GES
ZUFLUSSMD 3_GES.in		ZUFLUSSMD 3_GES
ZUFLUSSMD 3	da ⁻¹	INPMD 1/InputMD 1/1<<da>>
ZUFLUSSMD 3_GES	da ⁻¹	ZUFLUSSMD 3

High-Order Information Delay

Name	Unit	Definition
 AEN_INF	da^-1	FEHL/VZ
 AENEBENE_5	da^-1	(EBENE_4-EBENE_5_5th_Order)/(VZ/6)
 AENEBENE_4	da^-1	(EBENE_3-EBENE_4)/(VZ/6)
 AENEBENE_3	da^-1	(EBENE_2-EBENE_3)/(VZ/6)
 AENEBENE_2	da^-1	(EBENE_1-EBENE_2)/(VZ/6)
 AENEBENE_1	da^-1	(INF-EBENE_1)/(VZ/6)
 VZ	da	10 <<da>>
 FEHL		INF-EBENE_1_1th_Order
 INF		2//+STEP(-5;STARTTIME+20<<da>>)
 EBENE_1_1th_Order		0
 AEN_INF.in		AEN_INF
 EBENE_10_10th_Order		DELAYINF(INF;VZ;10;0)
 EBENE_5_5th_Order		0
 AENEBENE_5.in		AENEBENE_5
 EBENE_4		0
 AENEBENE_4.in		AENEBENE_4
 AENEBENE_5.out		AENEBENE_5
 EBENE_3		0
 AENEBENE_4.out		AENEBENE_4
 AENEBENE_3.in		AENEBENE_3
 EBENE_2		0
 AENEBENE_3.out		AENEBENE_3
 AENEBENE_2.in		AENEBENE_2
 EBENE_1		0
 AENEBENE_2.out		AENEBENE_2
 AENEBENE_1.in		AENEBENE_1

Trend-Funktion

Name	Unit	Definition	Documentation
AEINP	St/da	$(INP - DSINP) / ANPZDSINP$	Änderung der durchschnittlichen Nachfrage
AETRND	da ^{~-2}	$(ITREND - TRND) / ANPZTRND$	Änderung Trend
AETRNDKU	St/da	$(INP - TRNDKU) / ANPZTRNDKU$	
AETRNDLA	St/da	$(TRNDKU - TRNDLA) / ANPZTRNDLA$	
ANPZDSINP	da	20 <<da>>	Anpassungszeit durchschnittlicher Input
ANPZTRND	da	5 <<da>>	Anpassungszeit Trend
ANPZTRNDKU	da	15 <<da>>	Anpassungszeit kurz
ANPZTRNDLA	da	30 <<da>>	Anpassungszeit lang
DSINP	St	INP	
AEINP.in		AEINP	
INITTRND		0,03	Initialwert Trend
INITTRNDKU	St	$INP / (1 + ANPZTRNDKU * TRND)$	Initialwert Trend kurz
INITTRNDLA	St	$TRNDKU / (1 + ANPZTRNDLA * TRND)$	Initialwert Trend lang
INP	St	0 <<St>> □ □	Input
ITREND	da ^{~-1}	$((TRNDKU - TRNDLA) / TRNDLA) / ANPZTRNDLA$	indizierter Trend
TRND	da ^{~-1}	$INITTRND / 1 <<da>>$	Trend
AETRND.in		AETRND	
TRNDKU	St	INITTRNDKU	Trend kurz
AETRNDKU.in		AETRNDKU	
TRNDLA	St	INITTRNDLA	Trend lang
AETRNDLA.in		AETRNDLA	
VORHERINP	St	$(1 + VORHERZEIT * TRND) * DSINP$	Vorhersagewert des Inputwertes für den Vorhersagezeitraum
VORHERZEIT	da	40 <<da>>	Vorhersagezeitraum

Table-Funktion

Name	Unit	Definition
PROD_ERW	wk ^{~-1}	WIP/DLZ_ZIEL
KAP_VORH	wk ^{~-1}	25/1 <<wk>>
PROD	wk ^{~-1}	KAP_VORH * KAPNUTZ
INP	wk ^{~-1}	20/1 <<wk>>
DLZ_ZIEL	wk	2 <<wk>>
DLZ	wk	WIP/PROD
KAPNUTZ_NOR		0.80
KAPNUTZDRUCK		PROD_ERW / (KAPNUTZ_NOR * KAP_VORH)
KAPNUTZ		GRAPH(KAPNUTZDRUCK, 0, 0.1, {0, 0.0, 0.0, 0.25, 0.45, 0.6, 0.70, 0.74, 0.76, 0.79, 0.80, 0.81, 0.85, 0.87, 0.90, 0.93, 0.95, 0.97, 0.98, 0.99, 1, 1, 1, 1, 1, 1} / Min: 0; Max: 1.5 / {})
WIP		100
INP.in		INP
PROD.out		PROD

Anhang 7: Dokumentation des für das Fallbeispiel erstellten Modells

Name	Unit	Definition
AB	St	3400<<St>>
stuendl_Ausl.out		stuendl_Ausl
Zug_Auftr_best.in		Zug_Auftr_best
ABdiff	St/wk	(durchschn_AB-angestr_AB)/woech_Plg
ABdiff_Prodpro	St/wk	ABdiff
Aend_ABdiff_Prodpro...		Aend_ABdiff_Prodpro
Abg_Azubi_U	yr^-1	Ausb*(1-UeA_Azubi_P)
Abg_B	St	DELAYPPL(Zug_B;UI)
Abg_D	St	DELAYPPL(Zug_D;UI)
Abg_EW_mon_Ausl	EUR	IF(Monatsbeginn=TRUE;Sum_EW_mon_Ausl; 0<<EUR>>)
Abg_EW_mon_Fl	EUR	IF(Monatsbeginn=TRUE;Sum_EW_mon_Fl; 0<<EUR>>)
Abg_EW_mon_Mat_Eink	EUR	IF(Monatsbeginn=TRUE;Sum_EW_mon_Mat_Eink; 0<<EUR>>)
Abg_F	St	DELAYPPL(Zug_F;UI)
Abg_FA	yr^-1	Abgang_FA+Abg_FA_Kuend
Abg_FA_Kuend	da^-1	IF(mon_Bedn_FA<0;-mon_Bedn_FA/KZ_FA;0/KZ_FA)
Abg_gr_LB_B	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_B/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_B>gr_LB_B/TIMESTEP;gr_LB_B/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_BP	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_BP/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_BP>gr_LB_BP/TIMESTEP;gr_LB_BP/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_D	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_D/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_D>gr_LB_D/TIMESTEP;gr_LB_D/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_EM	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_EM/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_EM>gr_LB_EM/TIMESTEP;gr_LB_EM/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_H	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_H/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_H>gr_LB_H/TIMESTEP;gr_LB_H/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_K	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_K/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_K>gr_LB_K/TIMESTEP;gr_LB_K/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_L	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_L/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_L>gr_LB_L/TIMESTEP;gr_LB_L/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_N	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_N/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_N>gr_LB_N/TIMESTEP;gr_LB_N/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_n_B	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_n_B/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_n_B>gr_LB_n_B/TIMESTEP;gr_LB_n_B/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_n_K	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_n_K/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_n_K>gr_LB_n_K/TIMESTEP;gr_LB_n_K/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_n_N	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_n_N/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_n_N>gr_LB_n_N/TIMESTEP;gr_LB_n_N/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_n_V	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_n_V/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_n_V>gr_LB_n_V/TIMESTEP;gr_LB_n_V/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_gr_LB_V	St/s	IF(Monatsbeginn;gr_LB_V/TIMESTEP;IF(Zug_gr_LB_V>gr_LB_V/TIMESTEP;gr_LB_V/TIMESTEP;0<<St>>/TIMESTEP))
Abg_H	St	DELAYPPL(Zug_H;Bearbeitungszeit_Härten)
Abg_Int_SG_abs		DELAYPPL(Zug_Int_SG_abs;Plan_zeitr_SG;0)
Abg_Int_SG_neg		DELAYPPL(Zug_Int_SG_neg;Plan_zeitr_SG;0)
Abg_Int_SG_pos		DELAYPPL(Zug_Int_SG_pos;Plan_zeitr_SG;0)
Abg_K	St	DELAYPPL(Zug_K;UI)
Abg_N	St	DELAYPPL(Zug_N;UI)
Abg_Sum_Int_prod_abs_B		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_abs_B;Kap_plan_zeit_B;0)
Abg_Sum_Int_prod_abs_D		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_abs_D;Kap_plan_zeit_D;0)
Abg_Sum_Int_prod_abs_F		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_abs_F;Kap_plan_zeitraum_F;0)
Abg_Sum_Int_prod_abs_H		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_abs_H;Kap_plan_zeitraum_H;0)
Abg_Sum_Int_prod_abs_K		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_abs_K;Kap_plan_zeitraum_K;0)
Abg_Sum_Int_prod_abs_N		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_abs_N;Kap_plan_zeitraum_N;0)
Abg_Sum_Int_prod_abs_SV		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_abs_SV;Kap_plan_zeitraum_SV;0)
Abg_Sum_Int_prod_abs_V		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_abs_V;Kap_plan_zeitraum_V;0)
Abg_Sum_Int_prod_B		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_B;Kap_plan_zeit_B;0)
Abg_Sum_Int_prod_D		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_D;Kap_plan_zeit_D;0)
Abg_Sum_Int_prod_F		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_F;Kap_plan_zeitraum_F;0)
Abg_Sum_Int_prod_H		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_H;Kap_plan_zeitraum_H;0)
Abg_Sum_Int_prod_K		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_K;Kap_plan_zeitraum_K;0)
Abg_Sum_Int_prod_N		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_N;Kap_plan_zeitraum_N;0)
Abg_Sum_Int_prod_SV		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_SV;Kap_plan_zeitraum_SV;0)
Abg_Sum_Int_prod_V		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_prod_V;Kap_plan_zeitraum_V;0)
Abg_Sum_Int_unprod_B		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_unprod_B;Kap_plan_zeit_B;0)
Abg_Sum_Int_unprod_D		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_unprod_D;Kap_plan_zeit_D;0)
Abg_Sum_Int_unprod_F		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_unprod_F;Kap_plan_zeitraum_F;0)
Abg_Sum_Int_unprod_H		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_unprod_H;Kap_plan_zeitraum_H;0)
Abg_Sum_Int_unprod_K		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_unprod_K;Kap_plan_zeitraum_K;0)
Abg_Sum_Int_unprod_N		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_unprod_N;Kap_plan_zeitraum_N;0)
Abg_Sum_Int_unprod_SV		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_unprod_SV;Kap_plan_zeitraum_SV;0)
Abg_Sum_Int_unprod_V		DELAYPPL(Zug_Sum_Int_unprod_V;Kap_plan_zeitraum_V;0)

Name	Unit	Definition
Abg_Sum_Pers_abs_K		DELAYPPL(Zug_Pers_abs_K;Abrechnungszeitraum;0)
Abg_Sum_Verfueg_nutzb...		DELAYPPL(Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_B;Kap_plan_zeit_B;0)
Abg_Sum_Verfueg_nutzb...		DELAYPPL(Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_D;Kap_plan_zeit_D;0)
Abg_Sum_Verfueg_nutzb...		DELAYPPL(Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_F;Kap_plan_zeitraum_F;0)
Abg_Sum_Verfueg_nutzb...		DELAYPPL(Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_H;Kap_plan_zeitraum_H;0)
Abg_Sum_Verfueg_nutzb...		DELAYPPL(Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_K;Kap_plan_zeitraum_K;0)
Abg_Sum_Verfueg_nutzb...		DELAYPPL(Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_N;Kap_plan_zeitraum_N;0)
Abg_Sum_Verfueg_nutzb...		DELAYPPL(Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_SV;Kap_plan_zeitraum_SV;0)
Abg_Sum_Verfueg_nutzb...		DELAYPPL(Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_V;Kap_plan_zeitraum_V;0)
Abg_SV	St	DELAYPPL(Zug_SV;UI)
Abg_V	St	DELAYPPL(Zug_V;UI)
Abg_ZA	mo^-1	Abg_ZA_VZ+Abg_ZA_Kuend
Abg_ZA_Kuend	da^-1	IF(taegl_Bed_ZA<0;-taegl_Bed_ZA/KZ_ZA;0/KZ_ZA)
Abg_ZA_VZ	mo^-1	ZA/AZ_U_ZA
Abgang_FA	yr^-1	FA/AZ_U_FA
Abrechnungszeitraum	da	30<<da>>
AEINP	St/da^2	AT*(angestr_Prodpro_taeGL-DSINP)/ANPZDSINP
Aend_ABdiff_Prodpro	St/wk^2	AT*(ABdiff-ABdiff_Prodpro)/Int_der_Korrekt_ABdiff
Aend_arbt_Nf_mon	St/da^2	AT*(arbt_Nf-arbt_Nf_mon)/BZ_Aend_arbt_Nf_mon
Aend_arbt_Nf_woech	St/da^2	AT*(arbt_Nf-arbt_Nf_woech)/BZ_Aend_arbt_Nf_woech
Aend_Barwert_Ausl	EUR	DIVZX((Abg_EW_mon_Ausl/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)); ((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr); (Abg_EW_mon_Ausl/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)))
Aend_Barwert_FA	EUR	DIVZX((EW_mon_FA/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)); ((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr); (EW_mon_FA/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)))
Aend_Barwert_Fl	EUR	DIVZX((Abg_EW_mon_Fl/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)); ((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr); (Abg_EW_mon_Fl/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)))
Aend_Barwert_I	EUR	DIVZX((EW_mon_I/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)); ((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr); (EW_mon_I/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon))) □ □
Aend_Barwert_II	EUR	DIVZX((EW_mon_II/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)); ((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr); (EW_mon_II/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)))
Aend_Barwert_III	EUR	DIVZX((EW_mon_III/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)); ((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr); (EW_mon_III/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)))
Aend_Barwert_Mat_Eink	EUR	DIVZX((Abg_EW_mon_Mat_Eink/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)); ((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr); (Abg_EW_mon_Mat_Eink/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)))
Aend_Barwert_ZA	EUR	DIVZX((EW_mon_ZA/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)); ((1+(i_nom/(m*100)))^m*n_jahr); (EW_mon_ZA/((1+(i_nom/(m*100)))^n_mon)))
Aend_durchschn_AB	St/wk	AT*(AB-durchschn_AB)/BZ_Aend_durchschn_AB
Aend_durchschn_Ausl	St/da^2	AT*(taegl_Ausl-durchschn_Ausl)/BZ_Aend_durchschn_Ausl
Aend_genutz_PZ_B	da^-1	(Nutz_AnI_B-genutz_PZ_B)/Kap_plan_zeit_B
Aend_genutz_PZ_D	da^-1	(Nutz_AnI_D-genutz_PZ_D)/Kap_plan_zeit_D
Aend_genutz_PZ_F	da^-1	(Nutz_AnI_F-genutz_PZ_F)/Kap_plan_zeitraum_F
Aend_genutz_PZ_H	da^-1	(Nutz_AnI_H-genutz_PZ_H)/Kap_plan_zeitraum_H
Aend_genutz_PZ_K	da^-1	(Nutz_AnI_K-genutz_PZ_K)/Kap_plan_zeitraum_K
Aend_genutz_PZ_N	da^-1	(Nutz_AnI_N-genutz_PZ_N)/Kap_plan_zeitraum_N
Aend_genutz_PZ_SV	da^-1	(Nutz_AnI_SV-genutz_PZ_SV)/Kap_plan_zeitraum_SV
Aend_genutz_PZ_V	da^-1	(Nutz_AnI_V-genutz_PZ_V)/Kap_plan_zeitraum_V
Aend_Gesbest_geglaet	St/wk	AZ*(akt_Gesbest-Gesbest_geglaet)/WZ-Gesbest
Aend_Monat_BW_Ausl	EUR	IF(Monatsbeginn;-Monat_BW_Ausl+Barwert_Ausl+Aend_Barwert_Ausl-Barwert_Ausl;0<<EUR>>)
Aend_Monat_BW_FA	EUR	IF(Monatsbeginn;-Monat_BW_FA+Barwert_FA+Aend_Barwert_FA-Barwert_FA;0<<EUR>>)
Aend_Monat_BW_Fl	EUR	IF(Monatsbeginn;-Monat_BW_Fl+Barwert_Fl+Aend_Barwert_Fl-Barwert_Fl;0<<EUR>>)
Aend_Monat_BW_I	EUR	IF(Monatsbeginn;-Monat_BW_I+Barwert_I+Aend_Barwert_I-Barwert_I;0<<EUR>>)
Aend_Monat_BW_II	EUR	IF(Monatsbeginn;-Monat_BW_II+Barwert_II+Aend_Barwert_II-Barwert_II;0<<EUR>>)
Aend_Monat_BW_III	EUR	IF(Monatsbeginn;-Monat_BW_III+Barwert_III+Aend_Barwert_III-Barwert_III;0<<EUR>>)
Aend_Monat_BW_Mat_Eink	EUR	IF(Monatsbeginn;-Monat_BW_Mat_Eink+Barwert_Mat_Eink+Aend_Barwert_Mat_Eink-Barwert_Mat_Eink;0<<EUR>>)
Aend_Monat_BW_ZA	EUR	IF(Monatsbeginn;-Monat_BW_ZA+Barwert_ZA+Aend_Barwert_ZA-Barwert_ZA;0<<EUR>>)
Aend_nutzb_PZ_B	da^-1	(nutzb_Verfueg_B-nutzb_PZ_B)/Kap_plan_zeit_B
Aend_nutzb_PZ_D	da^-1	(nutzb_Verfueg_D-nutzb_PZ_D)/Kap_plan_zeit_D
Aend_nutzb_PZ_F	da^-1	(nutzb_Verfueg_F-nutzb_PZ_F)/Kap_plan_zeitraum_F
Aend_nutzb_PZ_H	da^-1	(nutzb_Verfueg_H-nutzb_PZ_H)/Kap_plan_zeitraum_H
Aend_nutzb_PZ_K	da^-1	(nutzb_Verfueg_K-nutzb_PZ_K)/Kap_plan_zeitraum_K
Aend_nutzb_PZ_N	da^-1	(nutzb_Verfueg_N-nutzb_PZ_N)/Kap_plan_zeitraum_N
Aend_nutzb_PZ_SV	da^-1	(nutzb_Verfueg_SV-nutzb_PZ_SV)/Kap_plan_zeitraum_SV

[illegible]

Name	Unit	Definition
FB_AP_L	qm	gr_LB_L/Lkap_qm
FB_AP_N	qm	gr_LB_N/Lkap_qm
FB_AP_n_B	qm	gr_LB_n_B/Lkap_qm
FB_AP_n_K	qm	gr_LB_n_K/Lkap_qm
FB_AP_n_N	qm	gr_LB_n_N/Lkap_qm
FB_AP_n_V	qm	gr_LB_n_V/Lkap_qm
FB_AP_V	qm	gr_LB_V/Lkap_qm
Fko_AP_B	EUR	FB_AP_B*Fko_qm
Fko_AP_BP	EUR	FB_AP_BP*Fko_qm
Fko_AP_D	EUR	FB_AP_D*Fko_qm
Fko_AP_EM	EUR	FB_AP_EM*Fko_qm
Fko_AP_H	EUR	FB_AP_H*Fko_qm
Fko_AP_K	EUR	FB_AP_K*Fko_qm
Fko_AP_L	EUR	FB_AP_L*Fko_qm
Fko_AP_N	EUR	FB_AP_N*Fko_qm
Fko_AP_n_B	EUR	FB_AP_n_B*Fko_qm
Fko_AP_n_K	EUR	FB_AP_n_K*Fko_qm
Fko_AP_n_N	EUR	FB_AP_n_N*Fko_qm
Fko_AP_n_V	EUR	FB_AP_n_V*Fko_qm
Fko_AP_V	EUR	FB_AP_V*Fko_qm
Fko_qm	EUR/qm	$0,75 < \text{EUR} > > / 1 < \text{qm} > >$
genutz_PZ_B	0	
Aend_genutz_PZ_B.in		Aend_genutz_PZ_B
genutz_PZ_D	0	
Aend_genutz_PZ_D.in		Aend_genutz_PZ_D
genutz_PZ_F	0	
Aend_genutz_PZ_F.in		Aend_genutz_PZ_F
genutz_PZ_H	0	
Aend_genutz_PZ_H.in		Aend_genutz_PZ_H
genutz_PZ_K	0	
Aend_genutz_PZ_K.in		Aend_genutz_PZ_K
genutz_PZ_N	0	
Aend_genutz_PZ_N.in		Aend_genutz_PZ_N
genutz_PZ_SV	0	
Aend_genutz_PZ_S...		Aend_genutz_PZ_SV
genutz_PZ_V	0	
Aend_genutz_PZ_V.in		Aend_genutz_PZ_V
ger_Persbed_Men_K	St	$800 < \text{St} > >$
ger_Persbed_prod_Men_K	St	ger_Persbed_Men_K*Verfueg_K
Gesbest_geglaet	St	$3639,48 < \text{St} > >$
Aend_Gesbest_gegl...		Aend_Gesbest_geglaet
Geschwindigkeit_LKVV	km/hr	$65 < \text{km} > > / 1 < \text{hr} > >$
gewuensh_stuendli_Ausl	St	$AZ * (IF(S_ABdiff=0;arbt_Nf*1 < \text{da} > >);(arbt_Nf+\text{Auftragsbestandsdifferenz_bei_Auslieferung})*1 < \text{da} > >)) / \text{Anz_Arbst}*1 < \text{hr} > >$
gr_LB_B	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_B.out		Abg_gr_LB_B
Zug_gr_LB_B.in		Zug_gr_LB_B
gr_LB_BP	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_BP.out		Abg_gr_LB_BP
Zug_gr_LB_BP.in		Zug_gr_LB_BP
gr_LB_D	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_D.out		Abg_gr_LB_D
Zug_gr_LB_D.in		Zug_gr_LB_D
gr_LB_EM	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_EM.out		Abg_gr_LB_EM
Zug_gr_LB_EM.in		Zug_gr_LB_EM
gr_LB_H	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_H.out		Abg_gr_LB_H
Zug_gr_LB_H.in		Zug_gr_LB_H
gr_LB_K	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_K.out		Abg_gr_LB_K
Zug_gr_LB_K.in		Zug_gr_LB_K
gr_LB_L	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_L.out		Abg_gr_LB_L
Zug_gr_LB_L.in		Zug_gr_LB_L
gr_LB_N	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_N.out		Abg_gr_LB_N
Zug_gr_LB_N.in		Zug_gr_LB_N
gr_LB_n_B	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_n_B.out		Abg_gr_LB_n_B
Zug_gr_LB_n_B.in		Zug_gr_LB_n_B
gr_LB_n_K	St	$0 < \text{St} > >$
Abg_gr_LB_n_K.out		Abg_gr_LB_n_K
Zug_gr_LB_n_K.in		Zug_gr_LB_n_K

Name	Unit	Definition
gr_LB_n_N	St	0<<St>>
Abg_gr_LB_n_N.out		Abg_gr_LB_n_N
Zug_gr_LB_n_N.in		Zug_gr_LB_n_N
gr_LB_n_V	St	0<<St>>
Abg_gr_LB_n_V.out		Abg_gr_LB_n_V
Zug_gr_LB_n_V.in		Zug_gr_LB_n_V
gr_LB_V	St	0<<St>>
Abg_gr_LB_V.out		Abg_gr_LB_V
Zug_gr_LB_V.in		Zug_gr_LB_V
Höchstbelastung_LKWW	St	460<<St>>
i_nom	6	
Init_Anz_FA_eig_Pr	1	
INITTRND	0//0,03	
INITTRNDKU	St/da	angestr_Prodpro_taege/(1+ANPZTRNDKU*TRND)
INITTRNDLA	St/da	TRNDKU/(1+ANPZTRNDLA*TRND)
Input	St	0<<St>>
StZ_komm_Men.in		StZ_komm_Men
Int_der_Korrek_ABdiff	wk	2<<wk>>
Int_Korrek_Best_diff	wk	4<<wk>>
Int_Mat_Bereit	da	1<<da>>
ITREND	da^-1	(DIVZX((TRNDKU-TRNDLA);TRNDLA;0))/ANPZTRNDLA
J_in_T		IF(YEAR(TIME)=(YEAR(STARTTIME)+1);360;IF(YEAR(TIME)=(YEAR(STARTTIME)+2);720;IF(YEAR(TIME)=(YEAR(STARTTIME)+3);1080;IF(YEAR(TIME)=(YEAR(STARTTIME)+4);1440;IF(YEAR(TIME)=(YEAR(STARTTIME)+5);1800;0))))
Kap_plan_zeit_B	da	14<<da>>
Kap_plan_zeit_D	da	14<<da>>
Kap_plan_zeitraum_F	da	14<<da>>
Kap_plan_zeitraum_H	da	14<<da>>
Kap_plan_zeitraum_K	da	14<<da>>
Kap_plan_zeitraum_N	da	14<<da>>
Kap_plan_zeitraum_SV	da	14<<da>>
Kap_plan_zeitraum_V	da	14<<da>>
Kap_PWD	St	Bel_PWD*Anz_Tr_Int_PWD
Kap_PWV	St	Bel_PWV*Anz_Tr_Int_PWV
Kap_UWEM	St	Bel_UWA*Anz_Tr_Int_UWEM
Kap_UWH	St	Bel_UWH*Anz_Tr_Int_UWH
Kap_UWK	St	Bel_UWK*Anz_Tr_Int_UWK
Kap_UWVR	St	Bel_UWVR*Anz_Tr_Int_UWVR
Komm_Mat	da	1<<da>>
Komm_Men	St	woech_Prodpro*Int_Mat_Bereit*7<<da>>/Anz_Arhtag_wk
Korrek_woech_Prodpro...	St/wk	IF(S_Bestdiff=1;Bestdiff_akt_angestr_Best/Int_Korrek_Best_diff;0<<St>>/1<<wk>>)
KZ_FA	da	30<<da>>
KZ_ZA	da	15<<da>>
Laderampe	St	0<<St>>
Ankunft_LKWW.in		Ankunft_LKWW
StZ_UWK.out		StZ_UWK
Lieferzeit_LKWS	hr	Strecke_LKWW/Geschwindigkeit_LKWW
Lieferzeit_LKVV	hr	Strecke_LKVV/Geschwindigkeit_LKVV
Lieferzyklus_LKWS	da	1<<da>>
Lieferzyklus_LKVV	da	1<<da>>
Lkap_qm	St/qm	10<<St>>/1<<qm>>
LZ	da	DIVZX(durchschn_AB/1<<da>>;durchschn_Ausl;0)*1<<da>>
LZ_Ratio		IF((DIVZX(LZ;angestr_LZ;0)-1)>0;(DIVZX(LZ;angestr_LZ;0)-1);0)
m	12	
MA_K		ZA_run/Max_MA_K
max_angestr_Gesbest	St	5812<<St>>
max_angestr_Gesbest_Rat	St	4431<<St>>
max_arbt_Nf	St/da	420<<St>>/1<<da>>
max_Ausbr_K	St	UI/min_Takt_K*Men_Takt_K*Anz_Arbst/1<<hr>>*Anz_Arhtag_wk/1<<da>>
Max_DLZ	da	22,99<<da>>
Max_DLZ_Rat	da	12,36<<da>>
max_LG_V	St	2000<<St>>
Max_MA_K	10	
Max_Prod_akt_Pers	St	Ausbr_o_Verfueg_K*Verfueg_K*Anz_Arbst/1<<hr>>*Anz_Arhtag_wk/1<<da>>
max_Prod_woech	St	MIN(max_Prod_woech_D;Max_Prod_woech_B;Max_Prod_woech_F;Max_Prod_woech_H;Max_Prod_woech_N;Max_Prod_woech_SV;Max_Prod_woech_V;Max_Prod_woech_K)
Max_Prod_woech_B	St	(nutzb_PZ_B*Ausbr_o_Verfueg_B)/1<<da>>/1<<hr>>*Anz_Arhtag_wk*Anz_Arbst
max_Prod_woech_D	St	(nutzb_PZ_D*Ausbr_o_Verfueg_D)/1<<da>>/1<<hr>>*Anz_Arhtag_wk*Anz_Arbst
Max_Prod_woech_F	St	(nutzb_PZ_F*Ausbr_o_Verfueg_F)/1<<da>>/1<<hr>>*Anz_Arhtag_wk*Anz_Arbst
Max_Prod_woech_H	St	(nutzb_PZ_H*Ausbr_o_Verfueg_H)/1<<da>>/1<<hr>>*Anz_Arhtag_wk*Anz_Arbst
Max_Prod_woech_K	St	(nutzb_PZ_K*Ausbr_o_Verfueg_K)/1<<da>>/1<<hr>>*Anz_Arhtag_wk*Anz_Arbst

Name	Unit	Definition
Max_Prod_woech_N	St	$(\text{nutzb_PZ_N} * \text{Ausbr_o_Verfueg_N}) / 1 < < \text{da} > > / 1 < < \text{hr} > > * \text{Anz_Arbtag_wk} * \text{Anz_Arbst}$
Max_Prod_woech_SV	St	$(\text{nutzb_PZ_SV} * \text{Ausbr_o_Verfueg_SV}) / 1 < < \text{da} > > / 1 < < \text{hr} > > * \text{Anz_Arbtag_wk} * \text{Anz_Arbst}$
Max_Prod_woech_V	St	$(\text{nutzb_PZ_V} * \text{Ausbr_o_Verfueg_V}) / 1 < < \text{da} > > / 1 < < \text{hr} > > * \text{Anz_Arbtag_wk} * \text{Anz_Arbst}$
Max_VS_Ausl	EUR/St	$42 < < \text{EUR} > > / 1 < < \text{St} > >$
Men_Komm	St	$0 < < \text{St} > >$
Ank_komm_Men.out		Ank_komm_Men
StZ_komm_Men.in		StZ_komm_Men
Men_Takt_K	St	$1 < < \text{St} > >$
Min_Bes_K		2
min_LG_V	St	$500 < < \text{St} > >$
min_Takt_K	s	$120 < < \text{s} > >$
Mindestbelastung_LKWS	St	$100 < < \text{St} > >$
Mindestbelastung_LKWV	St	$100 < < \text{St} > >$
mon_Bedn_FA		Diff_FA
Mon_in_T		$\text{IF}(\text{MONTH}(\text{TIME}) = (\text{MONTH}(\text{STARTTIME}) + 1); 30; \text{IF}(\text{MONTH}(\text{TIME}) = (\text{MONTH}(\text{STARTTIME}) + 2); 60; \text{IF}(\text{MONTH}(\text{TIME}) = (\text{MONTH}(\text{STARTTIME}) + 3); 90; \text{IF}(\text{MONTH}(\text{TIME}) = (\text{MONTH}(\text{STARTTIME}) + 4); 120; \text{IF}(\text{MONTH}(\text{TIME}) = (\text{MONTH}(\text{STARTTIME}) + 5); 150; \text{IF}(\text{MONTH}(\text{TIME}) = (\text{MONTH}(\text{STARTTIME}) + 6); 180; \text{IF}(\text{MONTH}(\text{TIME}) = \square \square (\text{MONTH}(\text{STARTTIME}), \dots$
Monatl_BW_Ausl	EUR	$0 < < \text{EUR} > >$
Aend_Monatl_BW_A...		Aend_Monatl_BW_Ausl
Monatl_BW_FA	EUR	$0 < < \text{EUR} > >$
Aend_Monatl_BW_F...		Aend_Monatl_BW_FA
Monatl_BW_Fl	EUR	$0 < < \text{EUR} > >$
Aend_Monatl_BW_Fl.in		Aend_Monatl_BW_Fl
Monatl_BW_I	EUR	$0 < < \text{EUR} > >$
Aend_Monatl_BW_I.in		Aend_Monatl_BW_I
Monatl_BW_II	EUR	$0 < < \text{EUR} > >$
Aend_Monatl_BW_II.in		Aend_Monatl_BW_II
Monatl_BW_III	EUR	$0 < < \text{EUR} > >$
Aend_Monatl_BW_II...		Aend_Monatl_BW_III
Monatl_BW_Mat_Eink	EUR	$0 < < \text{EUR} > >$
Aend_Monatl_BW_M...		Aend_Monatl_BW_Mat_Eink
Monatl_BW_ZA	EUR	$0 < < \text{EUR} > >$
Aend_Monatl_BW_Z...		Aend_Monatl_BW_ZA
Monatsbeginn		$\text{DAY}(\text{TIME}) = 1 \text{ AND } \text{HOUR}(\text{TIME}) = 0$
Monatsende		$\text{DAY}(\text{TIME}) = 30 \text{ AND } \text{HOUR}(\text{TIME}) = 23$
n_jahr		$\text{YEAR}(\text{TIME}) - \text{YEAR}(\text{STARTTIME})$
n_mon		$\text{MONTH}(\text{TIME}) - 1$
neg_proz_Abw_DLZ		$\text{DIVZX}(\text{Sum_neg_Abw_DLZ}; \text{Sum_Ziel_DLZ}; 0)$
neg_proz_Abw_LZ		$\text{DIVZX}(\text{Sum_neg_Abw_LZ}; \text{Sum_Ziel_LZ}; 0)$
Nutz_AnI_B		$\text{DIVZX}(\text{Sum_Int_prod_abs_B}; (\text{Sum_Int_prod_B} + \text{Sum_Int_unprod_B}); 0)$
Nutz_AnI_D		$\text{DIVZX}(\text{Sum_Int_prod_abs_D}; (\text{Sum_Int_prod_D} + \text{Sum_Int_unprod_D}); 0)$
Nutz_AnI_F		$\text{DIVZX}(\text{Sum_Int_prod_abs_F}; (\text{Sum_Int_prod_F} + \text{Sum_Int_unprod_F}); 0)$
Nutz_AnI_H		$\text{DIVZX}(\text{Sum_Int_prod_abs_H}; (\text{Sum_Int_prod_H} + \text{Sum_Int_unprod_H}); 0)$
Nutz_AnI_K		$\text{DIVZX}(\text{Sum_Int_prod_abs_K}; (\text{Sum_Int_prod_K} + \text{Sum_Int_unprod_K}); 0)$
Nutz_AnI_N		$\text{DIVZX}(\text{Sum_Int_prod_abs_N}; (\text{Sum_Int_prod_N} + \text{Sum_Int_unprod_N}); 0)$
Nutz_AnI_SV		$\text{DIVZX}(\text{Sum_Int_prod_abs_SV}; (\text{Sum_Int_prod_SV} + \text{Sum_Int_unprod_SV}); 0)$
Nutz_AnI_V		$\text{DIVZX}(\text{Sum_Int_prod_abs_V}; (\text{Sum_Int_prod_V} + \text{Sum_Int_unprod_V}); 0)$
Nutz_nutzb_Verfueg_B		$\text{DIVZX}(\text{genutz_PZ_B}; \text{nutzb_PZ_B}; 0)$
Nutz_nutzb_Verfueg_D		$\text{DIVZX}(\text{genutz_PZ_D}; \text{nutzb_PZ_D}; 0)$
Nutz_nutzb_Verfueg_F		$\text{DIVZX}(\text{genutz_PZ_F}; \text{nutzb_PZ_F}; 0)$
Nutz_nutzb_Verfueg_H		$\text{DIVZX}(\text{genutz_PZ_H}; \text{nutzb_PZ_H}; 0)$
Nutz_nutzb_Verfueg_K		$\text{DIVZX}(\text{genutz_PZ_K}; \text{nutzb_PZ_K}; 0)$
Nutz_nutzb_Verfueg_N		$\text{DIVZX}(\text{genutz_PZ_N}; \text{nutzb_PZ_N}; 0)$
Nutz_nutzb_Verfueg_SV		$\text{DIVZX}(\text{genutz_PZ_SV}; \text{nutzb_PZ_SV}; 0)$
Nutz_nutzb_Verfueg_V		$\text{DIVZX}(\text{genutz_PZ_V}; \text{nutzb_PZ_V}; 0)$
nutzb_PZ_B		0,78366518
Aend_nutzb_PZ_B.in		Aend_nutzb_PZ_B
nutzb_PZ_D		0,78232422
Aend_nutzb_PZ_D.in		Aend_nutzb_PZ_D



































Name	Unit	Definition
nutzb_PZ_F		0,76730843
Aend_nutzb_PZ_F.in		Aend_nutzb_PZ_F
nutzb_PZ_H		1
Aend_nutzb_PZ_H.in		Aend_nutzb_PZ_H
nutzb_PZ_K		0,97517775
Aend_nutzb_PZ_K.in		Aend_nutzb_PZ_K
nutzb_PZ_N		0,91919790
Aend_nutzb_PZ_N.in		Aend_nutzb_PZ_N
nutzb_PZ_SV		0,78713600
Aend_nutzb_PZ_SV.in		Aend_nutzb_PZ_SV
nutzb_PZ_V		0,95106619
Aend_nutzb_PZ_V.in		Aend_nutzb_PZ_V
nutzb_Verfueg_B		DIVZX(Sum_Verfueg_nutzb_abs_B;(Sum_Int_prod_B+Sum_Int_unprod_B);0)
nutzb_Verfueg_D		DIVZX(Sum_Verfueg_nutzb_abs_D;(Sum_Int_prod_D+Sum_Int_unprod_D);0)
nutzb_Verfueg_F		DIVZX(Sum_Verfueg_nutzb_abs_F;(Sum_Int_prod_F+Sum_Int_unprod_F);0)
nutzb_Verfueg_H		DIVZX(Sum_Verfueg_nutzb_abs_H;(Sum_Int_prod_H+Sum_Int_unprod_H);0)
nutzb_Verfueg_K		DIVZX(Sum_Verfueg_nutzb_abs_K;(Sum_Int_prod_K+Sum_Int_unprod_K);0)
nutzb_Verfueg_N		DIVZX(Sum_Verfueg_nutzb_abs_N;(Sum_Int_prod_N+Sum_Int_unprod_N);0)
nutzb_Verfueg_SV		DIVZX(Sum_Verfueg_nutzb_abs_SV;(Sum_Int_prod_SV+Sum_Int_unprod_SV);0)
nutzb_Verfueg_V		DIVZX(Sum_Verfueg_nutzb_abs_V;(Sum_Int_prod_V+Sum_Int_unprod_V);0)
Pers_Ausbr_Ratio_Erf	St	200<<St>>/1
Pers_Ko_FA_monatl	EUR	3500<<EUR>>
Pers_Ko_ZA_monatl	EUR	2000<<EUR>>
Persaend_bed_k		0
Aend_Persaend_be...		Aend_Persaend_bed
Persaend_bed_w		IF(progn_Ausbr<ger_Persbed_prod_Men_K;0;IF(progn_Ausbr>max_Ausbr_K; (max_Ausbr_K-Max_Prod_akt_Pers)/Pers_Ausbr_Ratio_Erf; (progn_Ausbr-Max_Prod_akt_Pers)/Pers_Ausbr_Ratio_Erf))□□
Plan_zeitr_SG	wk	1<<wk>>
pos_proz_Abw_DLZ		DIVZX(Sum_pos_Abweich_DLZ;Sum_Ziel_DLZ;0)
pos_proz_Abw_LZ		DIVZX(Sum_pos_Abweich_LZ;Sum_Ziel_LZ;0)
Pr_B	St	0<<St>>
Abg_B.out		Abg_B
Zug_B.in		Zug_B
Pr_D	St	0<<St>>
Abg_D.out		Abg_D
Zug_D.in		Zug_D
Pr_F	St	0<<St>>
Abg_F.out		Abg_F
Zug_F.in		Zug_F
Pr_H	St	0<<St>>
Abg_H.out		Abg_H
Zug_H.in		Zug_H
Pr_K	St	0<<St>>
Abg_K.out		Abg_K
Zug_K.in		Zug_K
Pr_N	St	0<<St>>
Abg_N.out		Abg_N
Zug_N.in		Zug_N
Pr_SV	St	0<<St>>
Abg_SV.out		Abg_SV
Zug_SV.in		Zug_SV
Pr_V	St	0<<St>>
Abg_V.out		Abg_V
Zug_V.in		Zug_V
progn_Ausbr	St	Progn_Prodpro_taeagl*Anz_Arhtag_wk
Progn_Prodpro_taeagl	St/da	(1+VORHERZEIT*TRND)*DSINP
QZ_Azubi	yr	3<<yr>>
rechn_angestr_DLZ	da	IF(umgesetzt_RP=0;Max_DLZ*ZF_Nachfr_DLZ;((1-umgesetzt_RP)*Max_DLZ*ZF_Nachfr_DLZ)+(umgesetzt_RP* Max_DLZ_Rat*ZF_Nachfr_DLZ_Rat))
S_ABdiff		1
S_Bestdiff		1
S_Kap_restrik		1
S_Pers_Anpa		1
S_RP		0
S_VS_Ausl		1
Saldo	EUR	Barwert_Ausl-Sum_BW_Prko
Saldo_monatl	EUR	Monatl_BW_Ausl-Sum_mon_BW_Prko
Schaltgroesse_zur_Verae...		0
schulbeg_RP		SAMPLEIF(ZP_Schulbeg_RP=1;1;0)
SG_lauf		DIVZX(Sum_Int_SG_abs;(Sum_Int_SG_prod+Sum_Int_SG_neg);0)

Name	Unit	Definition
SG_UZ		DIVZX(Sum_Int_SG_abs_UZ;(Sum_Int_SG_prod_UZ+Sum_Int_SG_neg_UZ);0)
Sich_best	St	durchschn_Ausl*Sich_best_Pr
Sich_best_Pr	da	0<<da>>
Standard_Takt_K	s	240<<s>>
Strecke_LKVV	km	292<<km>>
stuendl_Ausl	St	AZ*taegl_Ausl*1<<da>>/Anz_Arbst*1<<hr>>
Stunde		HOUR(TIME)
StZ_komm_Men	St	AT*IF(HOUR(TIME)=6;Komm_Men;0<<St>>)
StZ_PWD	St	IF((TIMECYCLE(ZP_F_PWD;Zyk_PWD)=TRUE);AZ*MAX(0<<St>>;MIN(Kap_PWD;BP));0<<St>>)
StZ_PWV	St	IF((TIMECYCLE(ZP_F_PWV;Zyk_PWV)=TRUE);AZ*MAX(0<<St>>;MIN(Kap_PWV;Bereit_zum_Verzahren));0<<St>>)
StZ_UWEM	St	IF((TIMECYCLE(ZP_F_UWEM;Zyk_UWEM)=TRUE);AZ*MAX(0<<St>>;MIN(Kap_UWEM;AP_n_K));0<<St>>)
StZ_UWH	St	IF((TIMECYCLE(ZP_F_UWH;Zyk_UWH)=TRUE);AZ*MAX(0<<St>>;MIN(Kap_UWH;AP_n_V));0<<St>>)
StZ_UWK	St	IF((TIMECYCLE(ZP_F_UWK;Zyk_UWK)=TRUE);AZ*MAX(0<<St>>;MIN(Kap_UWK;Laderampe));0<<St>>)
StZ_UWVR	St	IF((TIMECYCLE(ZP_F_UWVR;Zyk_UWVR)=TRUE);AZ*MAX(0<<St>>;MIN(Kap_UWVR;AP_n_N));0<<St>>)
Stückzahl_Härten	St	Chargengröße_Härten*Verfueg_H
Stückzahl_LKWS	St	IF((TIMECYCLE(Zeitpunkt_erste_Lieferung_LKWS;Lieferzyklus_LKWS)=TRUE);IF(Verladerampe>Mindestbeladung_LKWS;IF(Verladerampe<Höchstbeladung_LKVV;Verladerampe;Höchstbeladung_LKVV);0<<St>>);0<<St>>)
Stückzahl_LKVV	St	IF((TIMECYCLE(Zeitpunkt_erste_Lieferung_LKVV;Lieferzyklus_LKVV)=TRUE);IF(AP_n_F>Mindestbeladung_LKVV;IF(AP_n_F<Höchstbeladung_LKVV;AP_n_F;Höchstbeladung_LKVV);0<<St>>);0<<St>>)
Sum_Ausl	St	0<<St>>
stuendl_Ausl.in		stuendl_Ausl
Sum_BW_Prko	EUR	Barwert_I+Barwert_II+Barwert_III+Barwert_FI+Barwert_ZA+Barwert_Mat_Eink+Barwert_FA
Sum_EW_mon_Ausl	EUR	0<<EUR>>
Abg_EW_mon_Ausl...		Abg_EW_mon_Ausl
Zug_EW_mon_Ausl.in		Zug_EW_mon_Ausl
Sum_EW_mon_FA	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_FA.out		EW_mon_FA
Zug_EW_mon_FA.in		Zug_EW_mon_FA
Sum_EW_mon_FI	EUR	0<<EUR>>
Abg_EW_mon_FI.out		Abg_EW_mon_FI
Zug_EW_mon_FI.in		Zug_EW_mon_FI
Sum_EW_mon_I	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_I.out		EW_mon_I
Zug_EW_mon_I.in		Zug_EW_mon_I
Sum_EW_mon_II	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_II.out		EW_mon_II
Zug_EW_mon_II.in		Zug_EW_mon_II
Sum_EW_mon_III	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_III.out		EW_mon_III
Zug_EW_mon_III.in		Zug_EW_mon_III
Sum_EW_mon_Mat_Eink	EUR	0<<EUR>>
Abg_EW_mon_Mat...		Abg_EW_mon_Mat_Eink
Zug_EW_mon_Mat...		Zug_EW_mon_Mat_Eink
Sum_EW_mon_ZA	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_ZA.out		EW_mon_ZA
Zug_EW_mon_ZA.in		Zug_EW_mon_ZA
Sum_gr_IB	EUR	Fko_AP_B+Fko_AP_BP+Fko_AP_D+Fko_AP_EM+Fko_AP_H+Fko_AP_K+Fko_AP_L+Fko_AP_N+Fko_AP_n_B+Fko_AP_n_K+Fko_AP_n_N+Fko_AP_n_V+Fko_AP_V
Sum_Int_prod_abs_B		0
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_abs_B
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_abs_B
Sum_Int_prod_abs_D		0
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_abs_D
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_abs_D
Sum_Int_prod_abs_F		0
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_abs_F
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_abs_F
Sum_Int_prod_abs_H		0
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_abs_H
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_abs_H
Sum_Int_prod_abs_K		0
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_abs_K
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_abs_K
Sum_Int_prod_abs_N		0
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_abs_N
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_abs_N
Sum_Int_prod_abs_SV		0
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_abs_SV
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_abs_SV
Sum_Int_prod_abs_V		0
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_abs_V
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_abs_V
Sum_Int_prod_B		64
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_B
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_B
Sum_Int_prod_D		61
Abg_Sum_Int_prod...		Abg_Sum_Int_prod_D
Zug_Sum_Int_prod...		Zug_Sum_Int_prod_D

Name	Unit	Definition
Sum_Int_prod_F		47
Abg_Sum_Int_prod_... Zug_Sum_Int_prod_...		Abg_Sum_Int_prod_F Zug_Sum_Int_prod_F
Sum_Int_prod_H		64
Abg_Sum_Int_prod_... Zug_Sum_Int_prod_...		Abg_Sum_Int_prod_H Zug_Sum_Int_prod_H
Sum_Int_prod_K		134
Abg_Sum_Int_prod_... Zug_Sum_Int_prod_...		Abg_Sum_Int_prod_K Zug_Sum_Int_prod_K
Sum_Int_prod_N		56
Abg_Sum_Int_prod_... Zug_Sum_Int_prod_...		Abg_Sum_Int_prod_N Zug_Sum_Int_prod_N
Sum_Int_prod_SV		47
Abg_Sum_Int_prod_... Zug_Sum_Int_prod_...		Abg_Sum_Int_prod_SV Zug_Sum_Int_prod_SV
Sum_Int_prod_V		68
Abg_Sum_Int_prod_... Zug_Sum_Int_prod_...		Abg_Sum_Int_prod_V Zug_Sum_Int_prod_V
Sum_Int_SG_abs		0
Abg_Int_SG_abs.out Zug_Int_SG_abs.in		Abg_Int_SG_abs Zug_Int_SG_abs
Sum_Int_SG_abs_UZ		0
Abg_Int_SG_abs.in		Abg_Int_SG_abs
Sum_Int_SG_neg		0
Abg_Int_SG_neg.out Zug_Int_SG_neg.in		Abg_Int_SG_neg Zug_Int_SG_neg
Sum_Int_SG_neg_UZ		0
Abg_Int_SG_neg.in		Abg_Int_SG_neg
Sum_Int_SG_prod		0
Abg_Int_SG_pos.out Zug_Int_SG_pos.in		Abg_Int_SG_pos Zug_Int_SG_pos
Sum_Int_SG_prod_UZ		0
Abg_Int_SG_pos.in		Abg_Int_SG_pos
Sum_Int_unprod_B		80
Abg_Sum_Int_unpro... Zug_Sum_Int_unpro...		Abg_Sum_Int_unprod_B Zug_Sum_Int_unprod_B
Sum_Int_unprod_D		83
Abg_Sum_Int_unpro... Zug_Sum_Int_unpro...		Abg_Sum_Int_unprod_D Zug_Sum_Int_unprod_D
Sum_Int_unprod_F		120
Abg_Sum_Int_unpro... Zug_Sum_Int_unpro...		Abg_Sum_Int_unprod_F Zug_Sum_Int_unprod_F
Sum_Int_unprod_H		80
Abg_Sum_Int_unpro... Zug_Sum_Int_unpro...		Abg_Sum_Int_unprod_H Zug_Sum_Int_unprod_H
Sum_Int_unprod_K		10
Abg_Sum_Int_unpro... Zug_Sum_Int_unpro...		Abg_Sum_Int_unprod_K Zug_Sum_Int_unprod_K
Sum_Int_unprod_N		88
Abg_Sum_Int_unpro... Zug_Sum_Int_unpro...		Abg_Sum_Int_unprod_N Zug_Sum_Int_unprod_N
Sum_Int_unprod_SV		119
Abg_Sum_Int_unpro... Zug_Sum_Int_unpro...		Abg_Sum_Int_unprod_SV Zug_Sum_Int_unprod_SV
Sum_Int_unprod_V		76
Abg_Sum_Int_unpro... Zug_Sum_Int_unpro...		Abg_Sum_Int_unprod_V Zug_Sum_Int_unprod_V
Sum_mon_BW_Prko	EUR	Monatl_BW_I+Monatl_BW_FI+Monatl_BW_II+Monatl_BW_III+Monatl_BW_Mat_Eink+Monatl_BW_ZA+Monatl_BW_FA
Sum_neg_Abw_DLZ	da	0<<da>>
Zug_neg_Abweich_...		Zug_neg_Abweich_DLZ
Sum_neg_Abw_LZ	da	0<<da>>
Zug_neg_Abweich_L...		Zug_neg_Abweich_LZ

Name	Unit	Definition
Sum_Pers_abs_K		0
Abg_Sum_Pers_abs...		Abg_Sum_Pers_abs_K
Zug_Pers_abs_K.in		Zug_Pers_abs_K
Sum_pos_Abweich_DLZ	da	0<<da>>
Zug_pos_Abweich...		Zug_pos_Abweich_DLZ
Sum_pos_Abweich_LZ	da	0<<da>>
Zug_pos_Abweich_L...		Zug_pos_Abweich_LZ
Sum_Verfueg_nutzb_abs_B		120,19
Abg_Sum_Verfueg...		Abg_Sum_Verfueg_nutzb_abs_B
Zug_Sum_Verfueg...		Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_B
Sum_Verfueg_nutzb_abs_D		113,17
Abg_Sum_Verfueg...		Abg_Sum_Verfueg_nutzb_abs_D
Zug_Sum_Verfueg...		Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_D
Sum_Verfueg_nutzb_abs_F		128,14
Abg_Sum_Verfueg...		Abg_Sum_Verfueg_nutzb_abs_F
Zug_Sum_Verfueg...		Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_F
Sum_Verfueg_nutzb_abs_H		144
Abg_Sum_Verfueg...		Abg_Sum_Verfueg_nutzb_abs_H
Zug_Sum_Verfueg...		Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_H
Sum_Verfueg_nutzb_abs_K		140,96
Abg_Sum_Verfueg...		Abg_Sum_Verfueg_nutzb_abs_K
Zug_Sum_Verfueg...		Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_K
Sum_Verfueg_nutzb_abs_N		132,74
Abg_Sum_Verfueg...		Abg_Sum_Verfueg_nutzb_abs_N
Zug_Sum_Verfueg...		Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_N
Sum_Verfueg_nutzb_abs...		136,14
Abg_Sum_Verfueg...		Abg_Sum_Verfueg_nutzb_abs_SV
Zug_Sum_Verfueg...		Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_SV
Sum_Verfueg_nutzb_abs_V		140,16
Abg_Sum_Verfueg...		Abg_Sum_Verfueg_nutzb_abs_V
Zug_Sum_Verfueg...		Zug_Sum_Verfueg_nutzb_abs_V
Sum_Verr_FA	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_FA.in		EW_mon_FA
Sum_Verr_FI	EUR	0<<EUR>>
Abg_EW_mon_FI.in		Abg_EW_mon_FI
Sum_Verr_I	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_I.in		EW_mon_I
Sum_Verr_II	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_II.in		EW_mon_II
Sum_Verr_III	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_III.in		EW_mon_III
Sum_Verr_ZA	EUR	0<<EUR>>
EW_mon_ZA.in		EW_mon_ZA
Sum_Ziel_DLZ	da	0<<da>>
Zug_Sum_Ziel_DLZ.in		Zug_Sum_Ziel_DLZ
Sum_Ziel_LZ	da	0<<da>>
Zug_Sum_Ziel_LZ.in		Zug_Sum_Ziel_LZ
T		DAY(TIME)
t_ext_Lief		IF(AT=1;Verfügbarkeit_externer_Lieferant[INDEX(Stunde)];0)
T_forfl		INTEGER(T_in_Mon+Mon_in_T+J_in_T)
T_in_Mon		DAY(TIME)
taegl_Ausl	St/da	AT*MAX(0<<St>>/1<<da>>;IF(AP_EM>(arbt_Nf+Auftragsbestandsdifferenz_bei_Auslieferung)*1<<da>>;arbt_Nf+Auftragsbestandsdifferenz_bei_Auslieferung;IF(AP_EM>0<<St>>;AP_EM/1<<da>>;0<<St>>/1<<da>>)))
taegl_Bed_ZA		Diff_ZA
Takt_B	s	90<<s>>
Takt_D	s	90<<s>>
Takt_F	s	90<<s>>
Takt_N	min	1,5<<min>>
Takt_SV	s	90<<s>>
Takt_V	s	120<<s>>
TD_o_Handl_PWD	min	10<<min>>
TD_o_Handl_PWV	min	15<<min>>
TD_o_Handl_UWEM	min	5<<min>>
TD_o_Handl_UWH	min	15<<min>>
TD_o_Handl_UWK	min	30<<min>>
TD_o_Handl_UWVR	min	5<<min>>
Transp_LKWS	St	0<<St>>
Ankunft_LKWS.out		Ankunft_LKWS
Stückzahl_LKWS.in		Stückzahl_LKWS
Transp_PWD	St	0<<St>>
Ank_PWD.out		Ank_PWD
StZ_PWD.in		StZ_PWD
Transp_PWV	St	0<<St>>
Ank_PWV.out		Ank_PWV
StZ_PWV.in		StZ_PWV
Transp_UWEM	St	0<<St>>
Ank_UWEM.out		Ank_UWEM
StZ_UWEM.in		StZ_UWEM
Transp_UWH	St	0<<St>>
Ank_UWH.out		Ank_UWH
StZ_UWH.in		StZ_UWH

[illegible]

Name	Unit	Definition
 Zug_Sum_Int_prod_B		IF(akt_Auslast_B<>>0;1;0)
 Zug_Sum_Int_prod_D		IF(akt_Auslast_D<>>0;1;0)
 Zug_Sum_Int_prod_F		IF(akt_Auslast_F<>>0;1;0)
 Zug_Sum_Int_prod_H		IF(akt_Auslast_H<>>0;1;0)
 Zug_Sum_Int_prod_K		IF(akt_Auslast_K<>>0;1;0)
 Zug_Sum_Int_prod_N		IF(akt_Auslast_N<>>0;1;0)
 Zug_Sum_Int_prod_SV		IF(akt_Auslast_SV<>>0;1;0)
 Zug_Sum_Int_prod_V		IF(akt_Auslast_V<>>0;1;0)
 Zug_Sum_Int_unprod_B		IF(AZ=1 AND akt_Auslast_B=0;1;0)
 Zug_Sum_Int_unprod_D		IF(AZ=1 AND akt_Auslast_D=0;1;0)
 Zug_Sum_Int_unprod_F		IF(AZ=1 AND akt_Auslast_F=0;1;0)
 Zug_Sum_Int_unprod_H		IF(AZ=1 AND akt_Auslast_H=0;1;0)
 Zug_Sum_Int_unprod_K		IF(AZ=1 AND akt_Auslast_K=0;1;0)
 Zug_Sum_Int_unprod_N		IF(AZ=1 AND akt_Auslast_N=0;1;0)
 Zug_Sum_Int_unprod_SV		IF(AZ=1 AND akt_Auslast_SV=0;1;0)
 Zug_Sum_Int_unprod_V		IF(AZ=1 AND akt_Auslast_V=0;1;0)
 Zug_Sum_Verfueg_nutzb...		Verfueg_B*AZ
 Zug_Sum_Verfueg_nutzb...		Verfueg_D*AZ
 Zug_Sum_Verfueg_nutzb...		Verfueg_F*AZ
 Zug_Sum_Verfueg_nutzb...		Verfueg_H*AZ
 Zug_Sum_Verfueg_nutzb...		Verfueg_K*AZ
 Zug_Sum_Verfueg_nutzb...		Verfueg_N*AZ
 Zug_Sum_Verfueg_nutzb...		Verfueg_SV*AZ
 Zug_Sum_Verfueg_nutzb...		Verfueg_V*AZ
 Zug_Sum_Ziel_DLZ	da	IF(AZ=1;angestr_DLZ;0<<da>>)
 Zug_Sum_Ziel_LZ	da	IF(AZ=1;angestr_LZ;0<<da>>)
 Zug_SV	St	t_ext_Lief*MAX(0<<St>>;MIN(Ausbr_o_Verfueg_SV*Verfueg_SV;AP_SV))
 Zug_V	St	AZ*MAX(0<<St>>;MIN(Ausbr_o_Verfueg_V*Verfueg_V;AP_V))
 Zwischenloesungsgroesse		0
 Zyk_PWD	hr	2<<chr>>
 Zyk_PWV	hr	2<<chr>>
 Zyk_UWEM	hr	2<<chr>>
 Zyk_UWH	hr	2<<chr>>
 Zyk_UWVR	hr	2<<chr>>